



**Escola Politècnica Superior  
d'Edificació de Barcelona**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## **TRABAJO FINAL DE MÁSTER**

# **Estudio del desarrollo del BIM en conjunto con el Blockchain en el sector de la construcción**

**Titulación: Máster en Construcción Avanzada en la Edificación**

**Autor: Ricardo Arturo Rivas Di Geronimo**

**Tutor: Eloi Coloma Picó**

**Barcelona, junio de 2019.**

***“El Blockchain es un libro digital incorruptible de transacciones económicas que puede programarse para registrar no solo transacciones financieras sino prácticamente todo lo que tiene valor”***

***- Don & Allen Tappscott***

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN DE BARCELONA  
MÁSTER EN CONSTRUCCIÓN AVANZADA EN LA EDIFICACIÓN

**Estudio del desarrollo del BIM en conjunto con el Blockchain en el sector de la construcción**

Autor: Ricardo Arturo Rivas Di Geronimo

Tutor: Eloi Coloma Picó

**RESUMEN**

A través del presente Trabajo Final de Máster se realizó una investigación de cómo se encuentra actualmente la implementación de dos nuevas tecnologías, el BIM y el Blockchain, en el sector de la construcción que, al trabajar conjuntamente, podrían traer grandes beneficios al sector.

Por un lado, el BIM (*Building Information Modeling*) es una metodología de trabajo de manera colaborativa que trabaja transversalmente en todas las áreas de un proyecto de construcción (Arquitectura, Instalaciones y Estructura). El BIM empezó hacer popular en el año 2002 y se ha ido implementando a lo largo del tiempo especialmente en el Reino Unido y Europa. Por otro lado el Blockchain es una tecnología que nace a finales del 2008, justo después de la crisis financiera del sector inmobiliario, en donde una persona conocida bajo el pseudónimo Satoshi Nakamoto publica un documento llamado “*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*” en donde crea una criptomoneda llamada Bitcoin, cuyo funcionamiento es a través del Blockchain, que se puede definir como un libro de contabilidad digital que no es controlado por un servidor central, por lo tanto se caracteriza por tener una red descentralizada, compuesta por una gran cantidad de ordenadores, con la función de registrar en orden cronológico todas las transacciones e intercambio de información que se realicen en unos bloques.

Luego de haber investigado de distintas fuentes, incluyendo entrevistas, se decidió separar el análisis en estos tres puntos: i) Cómo el Blockchain puede trabajar usando la metodología BIM trabajando en un Entorno Común de Datos descentralizado. ii) El uso de los *smart contracts* durante todo el ciclo de del proyecto, desde la etapa de diseño, hasta la etapa de mantenimiento. iii) El uso del Blockchain con el BIM para mejorar la cadena de suministro de los objetos y materiales usados en la construcción.

Finalmente, una vez analizado estos tres puntos, se determinó que al trabajar con BIM y Blockchain, éstas traerían varias ventajas a sector, como, por ejemplo, el ahorro de tiempo y dinero mediante el uso de los *smart contracts* a la hora de finalizar un trabajo, por otro lado, en general se tendría una mejor trazabilidad y control de los elementos que involucran una obra, ya sea el personal, los materiales, equipos etc.

Palabras Clave: BIM, Blockchain, *smart contracts*, descentralización, colaboración.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	7
1.1    Introducción .....	7
1.2    Justificación .....	8
1.3    Alcance .....	9
1.4    Objetivos.....	9
1.4.1    Objetivo General.....	9
1.4.2    Objetivos Específicos .....	9
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
1.1    BIM.....	10
1.1.1    ¿Qué es el BIM? .....	10
1.1.2    Contexto histórico del BIM .....	12
1.1.3    Implementación BIM.....	14
1.1.4    Niveles de BIM.....	16
1.1.5    Las dimensiones del BIM.....	19
1.1.6    ¿Qué es el Entorno Común de Datos (CDE)? .....	20
1.2    Blockchain .....	22
1.2.1    ¿Qué es el Blockchain? .....	22
1.2.2    Reseña histórica del Blockchain.....	24
1.2.3    ¿Cómo funciona el Blockchain?.....	25
1.2.4    Blockchain públicos y privados.....	26
1.2.5    ¿Qué son los <i>smart contracts</i> ?.....	28
1.2.6    Prueba de trabajo vs Prueba de participación .....	30
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>35</b>
4.1    Estudio de las innovaciones tecnológicas en el sector de la construcción.....	35

4.2 ¿Cómo el Blockchain puede trabajar usando la metodología BIM trabajando en un Entorno Común de Datos descentralizado? .....	39
4.2.1 Entrevistas realizadas .....	46
4.2. El uso de los <i>Smart contracts</i> durante la evolución del ciclo de vida del proyecto.....	52
4.2.1 Entrevistas .....	59
4.3 El uso del Blockchain con el BIM para mejorar la cadena de suministro de los objetos y materiales usados en la construcción. ....	62
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>CAPÍTULO VI: FUTURAS VÍAS DE DESARROLLO DEL BLOCKCHAIN .....</b>	<b>72</b>
<b>CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> <i>Building Information Modeling (BIM)</i> .....	11
<b>Figura 2:</b> Trabajo colaborativo del BIM .....	11
<b>Figura 3:</b> Ciclo de vida del Modelo BIM. ....	12
<b>Figura 4:</b> Curva de MacLeamy .....	15
<b>Figura 5:</b> Proceso de Diseño Tradicional vs Proceso de Diseño Integrado (IPD).....	16
<b>Figura 6:</b> Niveles del BIM.....	17
<b>Figura 7:</b> Dimensiones del BIM .....	19
<b>Figura 8:</b> Entorno de datos Comunes (CDE).....	21
<b>Figura 9:</b> Servidor central vs distribuido .....	23
<b>Figura 10:</b> Funcionamiento del Blockchain .....	26
<b>Figura 11:</b> Blockchain Público vs Blockchain Privado.....	27
<b>Figura 12:</b> Proceso de un Smart Contract.....	29
<b>Figura 13:</b> Ejemplo de transacción de Smart Contract.....	29
<b>Figura 14:</b> Prueba de Trabajo vs Prueba de participación.....	31
<b>Figura 15:</b> Tiempo y sobrecostos en el sector de la construcción .....	35
<b>Figura 16:</b> Productividad en el sector de la construcción.....	36
<b>Figura 17:</b> Adopción de nuevas tecnologías en los distintos sectores.....	37
<b>Figura 18:</b> Estudio de soluciones tecnológicas en el sector de la construcción .....	38
<b>Figura 19:</b> Trazabilidad y certificación en un modelo BIM .....	42
<b>Figura 20:</b> Administración de información de un modelo BIM con Blockchain .....	44
<b>Figura 21:</b> <i>Transacciones en Blockchain del modelo BIM</i> .....	45
<b>Figura 22:</b> <i>Esquema de trabajo colaborativo de modelo BIM según Bimchain</i> .....	47
<b>Figura 23:</b> <i>Registro de horas trabajadas mediante un smart contract</i> .....	53
<b>Figura 24:</b> <i>Caso de uso de sensores mediante smart contract</i> .....	54
<b>Figura 25:</b> Ejemplo de smart contract dentro de un modelo BIM.....	54
<b>Figura 26:</b> Ejemplo de smart contract dentro de la plataforma de Ethereum.....	58
<b>Figura 27:</b> Trazabilidad de un material mediante Blockchain.....	63
<b>Figura 28:</b> Ejemplo de trazabilidad de viga de acero de Tata Steel .....	64
<b>Figura 29:</b> Etapas en una cadena de suministro.....	65
<b>Figura 30:</b> Procedencia de un material de construcción.....	67

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Introducción**

El sector de la construcción es fundamental para la economía mundial. Se sabe que en esta industria se incluyen muchas personas de distintas áreas, en donde existe bastante intercambio de información y documentación que a veces se pierde en el camino, y también se tiene un proceso administrativo bien complejo de pagos por trabajos realizados, con la finalidad de ejecutar y finalizar un proyecto. Según un estudio de McKinsey solamente se ha incrementado 1% la productividad anual del sector de la construcción en los últimos 20 años, así como los gastos relacionados (materiales, mano de obra, maquinaria) dentro del sector equivalen al 13 % del Producto Interno Bruto mundial.

McKinsey realiza el siguiente ejemplo como metáfora de lo que pasa actualmente dentro del mundo de la construcción; imaginemos que se va a comprar un nuevo carro. Uno encuentra la marca y el modelo, teniendo la oportunidad de que uno pueda elegir y modificar las características interiores del carro, posteriormente a esto se realiza la orden de compra. Por lo tanto, la compañía empieza a fabricar el carro y le promete al cliente un par de semanas para su finalización. Pero, este par de semanas se convierte en par de meses y el carro nunca llega, entonces, uno llama a la fabricadora del carro, pero no hay una clara respuesta de por qué se ha tardado tanto el carro en fabricar. Cuando uno pregunta en la empresa por la situación, te refieren a la persona encargada del chasis del carro, quien culpa al técnico del motor, que dice que el acero no llegó al tiempo, en resumen, uno está persiguiendo a varias personas ya sea por teléfono o por correo electrónico. Finalmente, luego de casi 1 año, el carro finalmente llega, pero ahora cuesta 30% más caro que el precio original en su momento. Con esto, nadie compraría este carro. Mi punto con este ejemplo es que de alguna manera se ha aceptado este proceso frustrante como algo normal dentro de la industria de la construcción. (Marks, 2017)

Mientras otras industrias se han modernizado mediante nuevas tecnologías, el sector de la construcción sigue siendo una de las principales industrias más estancadas que no se modernizan ni se digitalizan mediante la implementan de nuevas tecnologías y que aún se utilizan muchos de los mismos métodos que desde el siglo XIX, que conlleva a que la productividad sea más baja.

Existen varias razones por las cuales las empresas constructoras no han tenido esta innovación tecnológica, siendo la principal de ellas la falta de inversión de implementación de nuevas tecnologías. En el año 2016, según el estudio de McKinsey, el 70% de las constructoras le dedicaron 1 % o menos de sus ingresos a las tecnologías. Por ejemplo, la baja productividad y mala administración contribuye al hecho de que un edificio residencial con más de 20 apartamentos se tarde en promedio de 14,9 meses para ser construido. (Marks, 2017)

En este trabajo de investigación se describen dos nuevas tecnologías, llamadas BIM (*Building Information Modeling*) y Blockchain, que ofrecen muchas ventajas dentro del sector, teniendo como objetivo ejecutar un proyecto de manera más eficiente, ahorrando tiempo, dinero y brindando mayor seguridad. Así como también, se analiza cómo estas dos tecnologías pueden funcionar juntas con el fin de traer beneficios al sector.

Hoy en día un gran porcentaje de las personas involucradas dentro de la industria de la construcción han escuchado al menos la palabra BIM, pero a veces confunden su definición. La implementación BIM desde sus inicios del año 2002 se ha ido incrementando alrededor de todo el mundo, especialmente en Europa y los Estados Unidos de América hasta hoy en día. Por otro lado, el Blockchain nace a finales del 2008 justo después de la crisis inmobiliaria, dentro del sector financiero. Esta nueva tecnología es tan importante que, durante el Foro Económico Mundial del año 2018, también conocido como la Conferencia de Davos, se dijo que el Blockchain podría ser la Cuarta Revolución Industrial y que para el año 2027 el 10% del Producto Interno Bruto mundial se almacenará en Blockchain. Hasta hoy en día el término Blockchain aún no es tan conocida como por ejemplo el de internet. Siendo este poco porcentaje de la población mundial que está tratando de implementar esta nueva tecnología Blockchain para otras industrias como por ejemplo la farmacéutica, la automotriz, las gestiones de la cadena de suministro, el entretenimiento y la construcción.

## **1.2 Justificación**

Existen varias razones por las cuales se escogió este tema para el Trabajo Final de Máster. La primera de ellas es que yo soy ingeniero civil, y quisiera profundizar más el área del BIM el cual fue parte de este Máster, y por otro lado siempre he sido apasionado de las nuevas tecnologías, y siempre he seguido de cerca las innovaciones en los distintos sectores, ya sea bancario, de educación, industrial, automotriz etc.

Por otro lado, siempre me ha interesado la economía, por lo tanto, cuando supe de la nueva metodología de trabajar en el mundo de la construcción mediante el BIM en el cual se necesita



la colaboración de varias personas trabajando en conjunto con la finalidad de trabajar de manera más eficiente ahorrando tiempo y dinero, supe que quería aprender y profundizar más el tema. Posteriormente, desde el año 2016 llevo trabajando con temas relacionados con el Blockchain y me parece que es un mecanismo que va a cambiar el mundo, especialmente de la manera que nos intercambiamos valor, por ejemplo, el dinero. Aparte de esto, el Blockchain ofrece muchas ventajas, no sólo al sector bancario sino a muchos más sectores que podrían ayudarlos a ser más productivos y eficientes de lo que son hoy en día.

Por último, pienso que como hoy en día está evolucionando la implementación del BIM en general, que contiene información valiosa, es sumamente importante que pueda ser trazable e incorruptible gracias al Blockchain. Esto es una oportunidad que hay que aprovechar al tener la unión de estas dos tecnologías.

### **1.3 Alcance**

El alcance de este Trabajo Final de Máster es principalmente realizar un estudio sobre el estado del arte de la implementación BIM relacionado con el Blockchain

Es un estudio netamente teórico en el cual se recopila información de distintas fuentes y compara los avances y opiniones de esta información extraída de varias fuentes.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

- Estudiar cómo el BIM y el Blockchain pueden combinarse para traer ventajas en el sector de la construcción.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Estudiar la vinculación de los *smart contracts* basados en Blockchain con los modelos BIM.
- Investigar sobre los indicios que existen en el sector de la construcción con relación al ahorro de tiempo y dinero mediante el uso de Blockchain y BIM
- Investigar la situación actual del mercado de la implementación del BIM y Blockchain en el mundo de la construcción.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 1.1 BIM

#### 1.1.1 ¿Qué es el BIM?

Existen varias definiciones de BIM, ya que abarca muchos aspectos en el ámbito de la construcción, por lo tanto, a continuación, se establecerán distintas definiciones respecto al BIM.

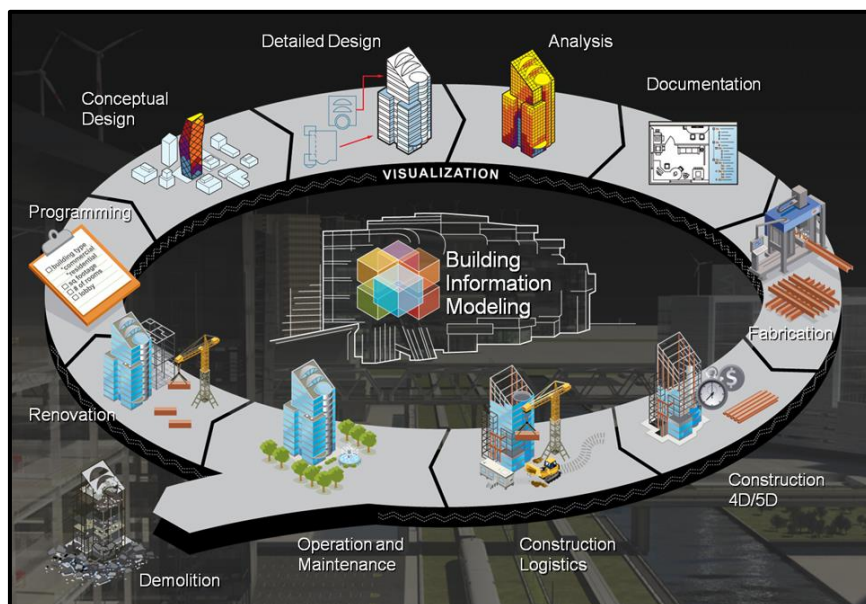
Según la normativa ISO 19650 se define el BIM como:

*“Building Information Modelling (BIM) es el uso de una representación digital compartida (modelo de información) de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación, y proporcionar una base confiable para la toma de decisiones” (ISO, 2018)*

Por otro lado, el Instituto de Tecnología de la Construcción en Cataluña (Itec) define el BIM como:

*“Un sistema de gestión de las obras de construcción que está basado en el uso de un modelo tridimensional virtual relacionado con bases de datos.” (ITeC, 2011)*

Esta definición de lo que es el BIM lo describe como un sistema, que, una de sus características más relevantes es que describe y almacena toda la información necesaria para trabajar en las distintas fases del ciclo de vida de cualquier edificación. (Ver Figura 1)

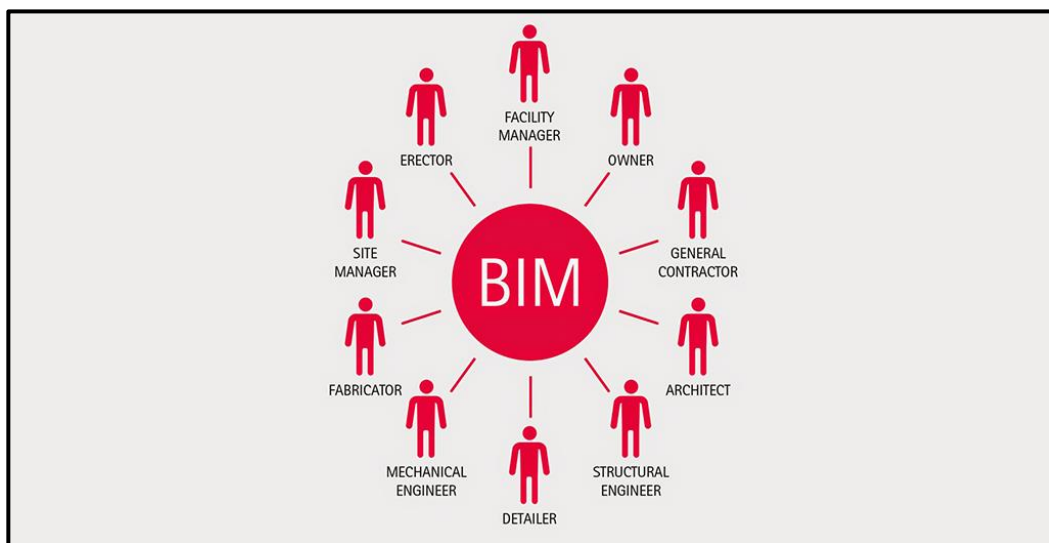


**Figura 1:** Building Information Modeling (BIM)

Tomado de: <https://www.kaizenai.com/bim/que-es-el-bim/>

Si empezamos a describir un poco más profundo cómo se construyen los modelos BIM, se puede decir que a nivel técnico consiste en herramientas como por ejemplo softwares que permite generar los modelos de información, y otras que permiten analizar sus datos y realizar simulaciones con ellos.

Asimismo, una de las ventajas más importante del BIM es que funciona como una metodología de trabajo en el que todos los agentes del proceso constructivo, es decir, arquitectos, ingenieros, constructores, promotores, facility managers, etc., que trabajan en un entorno colaborativo entre ellos a través del modelo digital BIM. (Ver Figura 2)



**Figura 2:** Trabajo colaborativo del BIM

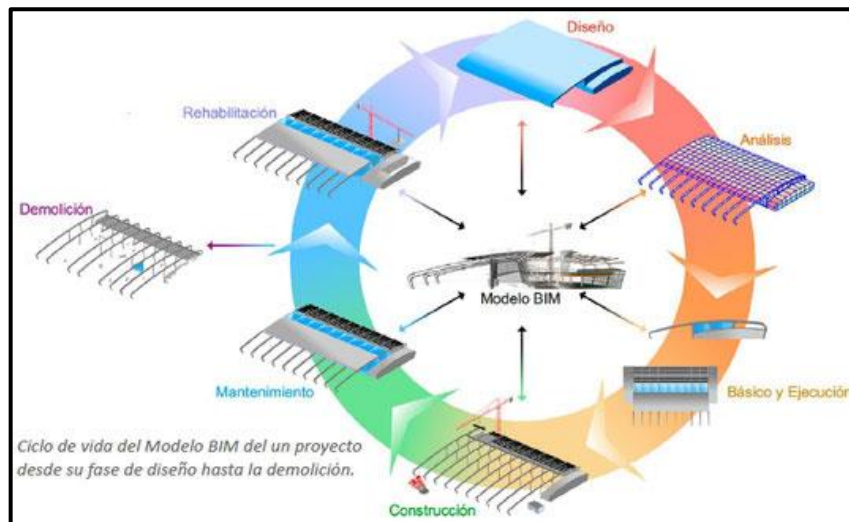
Tomado de: <https://www.construsoft.es/aproximacion-a-open-bim/>

También el Bulding Smart Spain define el BIM como:

*“Una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del*

*proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes”*  
(Building SMART Spain, 2012)

A continuación, se representa el ciclo de vida del modelo BIM según Building Smart Spain (Ver Figura 3).



**Figura 3:** *Ciclo de vida del Modelo BIM.*

Tomado de : <https://www.buildingsmart.es/bim/>

El BIM ya que incorpora datos e información se puede decir que va más allá del modelo tridimensional (3D), tiempos de ejecución (4D), costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D).

### **1.1.2 Contexto histórico del BIM**

A continuación, se presenta una breve reseña histórica de cómo el BIM se desarrolla desde el inicio de sus fundamentos.

- En el **año 1974**, Charles M. Eastman del *Georgia Tech Institute of Technology* presenta un nuevo concepto de modelo parametrizado llamado *Building Description System*

(BDS), cuyo objetivo era desarrollar una base de datos en una computadora que permitiera el diseño geométrico, espacial, y, descripción de elementos físicos que representen un edificio real (Eastman, Lafue, & Stoker, 1974).

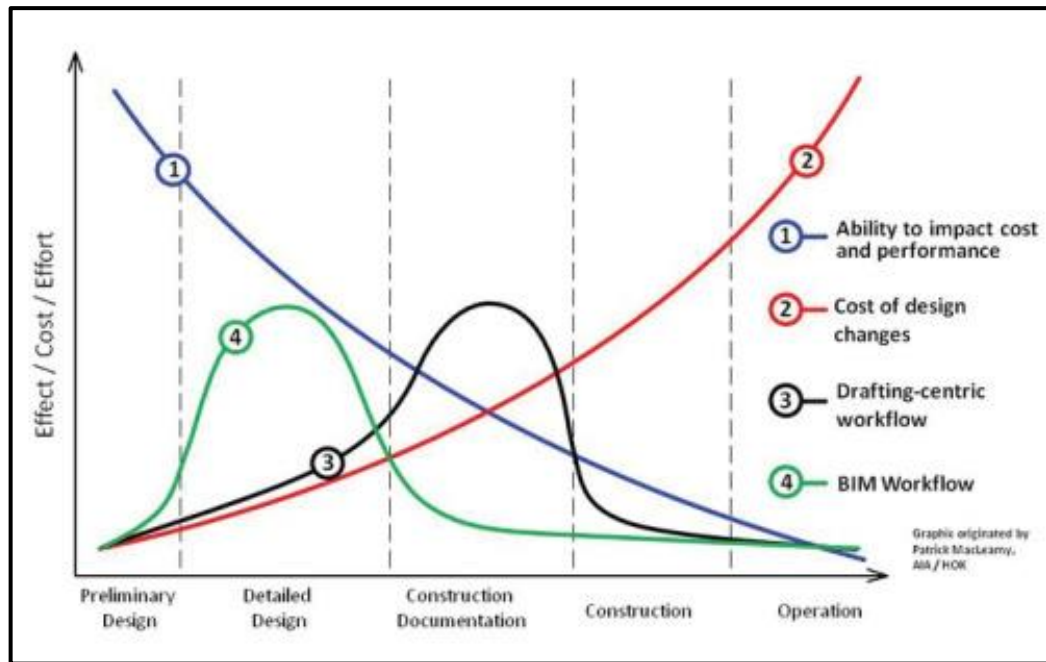
- En el **año 1982** nace el software AUTOCAD de AUTODESK.
- En el **año 1985** el término “*building model*” es utilizado en un trabajo publicado por Simon Ruffle en donde explicaba la posibilidad de liberar al diseñador de las tareas de representación propias del proceso manual y de CADD, para delegarlas a sistemas computacionales y enfocarse en el desarrollo creativo como una actividad fundamentalmente humana. (Ruffle, 1986)
- En el **año 1986** la empresa Graphisoft introduce al público el software ARCHICAD en donde se puede generar geometrías 2D y 3D.
- En el **año 1992** en la Universidad de Delft en Holanda, Gilles A. Van Nederveen publica el primer trabajo de investigación mencionando el término “*building information model*”. (Van Nederveen, 1992)
- En el **año 1994**, se funda la IAI – *International Alliance of Interoperability* (EE.UU.), consorcio de empresas para el desarrollo integrado de aplicaciones. El cual genera el IFC, el primer estándar de intercambio.
- En el **año 2002** AUTODESK publica un artículo llamado “*Building Information Modeling*” en donde describe tres características que debe de tener esta nueva era de la construcción del *Building Information Modeling*: **i)** Bases de datos digitales, **ii)** Manejos de cambios en la data y geometría, **iii)** Captura y preservación de información para usos futuros. Luego en este mismo año AUTODESK lanza al mercado el software REVIT. (Autodesk, 2002)
- En el **año 2007**, el Servicio de Administración Generales de los Estados Unidos requiere BIM para la entrega de todos los proyectos importantes que reciben financiación a partir del año 2007.
- En el **año 2012** Finlandia anuncia los requerimientos comunes para trabajar mediante BIM.
- En el **año 2016**, el Gobierno del Reino Unido anuncia que, a partir del 4 de abril de ese año, todos los proyectos del sector público deben realizarse mediante el uso del BIM, específicamente del BIM Nivel 2
- En el **año 2018**, España anuncia que, a partir del mes de diciembre de ese año, todas las licitaciones del sector público se deben presentar con BIM.

### **1.1.3 Implementación BIM**

La implementación de BIM en el área de la construcción requiere un cambio en la manera de trabajar en comparación con el proceso tradicional que se ha venido utilizando en los últimos 50 años. La metodología BIM cambia totalmente la manera de cómo trabajamos hoy en día, con esta implementación se necesita más comunicación y más colaboración entre todos los agentes que pertenecen a un proyecto de construcción.

En el año 2004, Patrick MacLeamy, el fundador de Alianza Internacional para la Interoperabilidad conocido como *Building Smart Internacional*, y de la empresa HOK (Hellmuth, Obata & Kassabaum) cita lo siguiente “Por cada \$1 dólar invertido en la etapa de Diseño, \$20 son invertidos en la etapa de Construcción y \$60 son invertidos en la etapa de Operación y Mantenimiento”.

En ese año desarrolló el concepto conocido como “cambiar el esfuerzo” o también conocida como la curva de MacLeamy. La curva de MacLeamy (Ver Figura 4) explica que cuando el proyecto esté más lejos de la etapa inicial de diseño, mayor será el costo de ejecutar los cambios. Esto también tiene una correlación directa con los posibles retrasos del proyecto, el desperdicio y el aumento de los costos de entrega. Por lo tanto, usando la metodología BIM hace que, desde antes del inicio del proyecto, todos los agentes involucrados al proyecto se puedan coordinar y organizar para realizar una ejecución y una planificación más integrada y colaborativa del mismo. (Macleamy, 2004)



**Figura 4:** Curva de MacLeamy

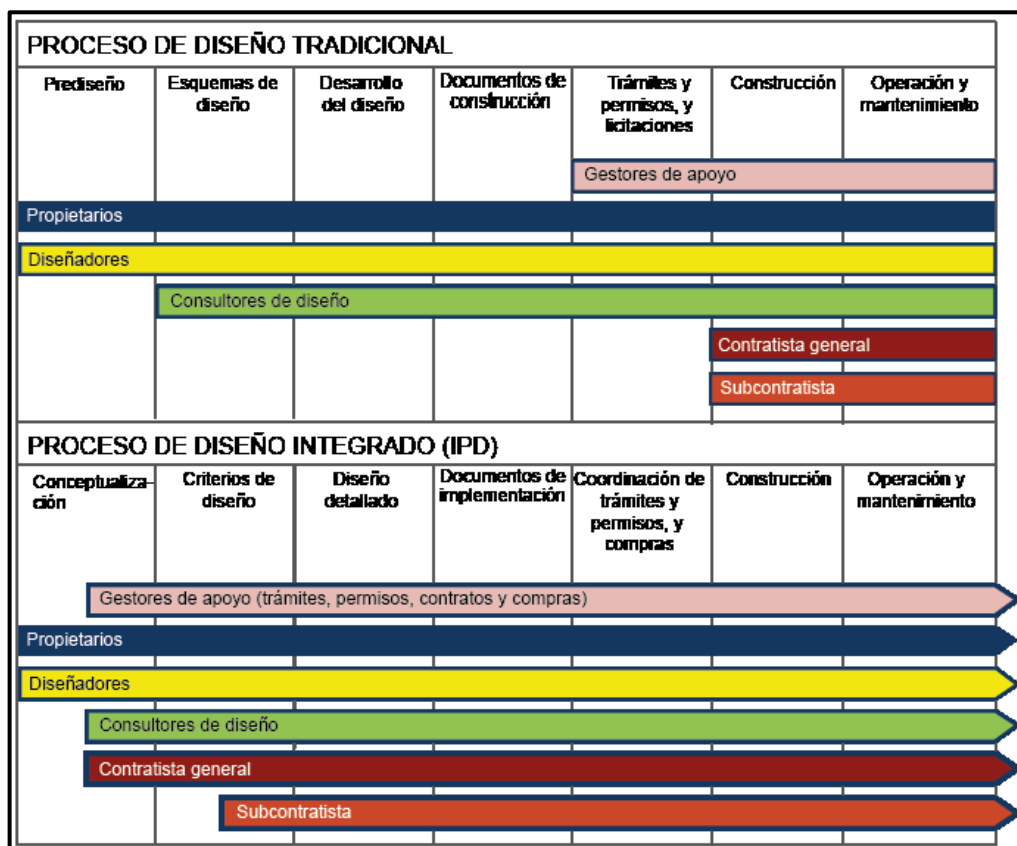
Tomado de: (Macleamy, 2004)

La gráfica mostrada anteriormente es conocida como la curva de MacLeamy en donde:

- La **línea azul (1)** muestra que el esfuerzo es mayor en la etapa de diseño y construcción. Reuniendo todas las energías desde el comienzo del proyecto.
- La **línea roja (2)** refleja que el costo debido a los cambios durante la construcción es cada vez mayor a medida que avanza el proyecto. Por lo tanto, tener que modificar el proyecto hace que se generen grandes pérdidas de tiempo y dinero.
- La **línea negra (3)** indica cómo el esfuerzo comienza en la etapa de diseño, gastando todas las energías en la fase de construcción, en donde sería la manera tradicional de construir en todo el mundo.
- La **línea verde (4)** representa cómo se distribuye el esfuerzo especialmente durante la etapa de diseño, poder enseñarle todos los beneficios que el cliente espera en el menor tiempo, así identificando las verdaderas necesidades de los usuarios finales, teniendo una mejor comunicación entre las definiciones específicas del proyecto con los distintos agentes colaborativos y por último incluir los criterios de constructibilidad para optimizar los costos y tiempos de la etapa de construcción. Todas estas características forman parte de un proceso usando la metodología BIM a lo largo del proyecto.



Para complementar lo descrito anteriormente, como ya vimos, a través de la metodología BIM, se tiene un nuevo proceso de trabajo, en este caso llamado como el IPD (*Integrated Project Delivery*) conocido como Proyecto de Diseño Integrado (Ver Figura 5), en donde se observa que en el proceso de diseño tradicional los agentes involucrados en el proyecto se comunican y empiezan a trabajar durante la etapa de construcción y mantenimiento, en cambio en el proceso de diseño integrado, como se explicó anteriormente en la curva de MacLeamy, todos los agentes del proyecto empiezan a trabajar y a reunirse durante la etapa de conceptualización y diseño para tener una mejor efectividad ante costos y cambios durante el ciclo de vida del proyecto. (Isaza, 2015)



**Figura 5:** Proceso de Diseño Tradicional vs Proceso de Diseño Integrado (IPD)

Tomado de: (Isaza, 2015)

#### 1.1.4 Niveles de BIM

El concepto de “Niveles del BIM” se ha convertido en una definición de qué criterios deben considerarse compatibles con BIM, al ver el proceso de adopción en donde el sector de la construcción ha evolucionado desde el dibujo manual, pasando por el uso de la computadora y



por último la era digital y el internet de las cosas. Por lo tanto, el gobierno de Reino Unido ha reconocido que el proceso de mover la industria de la construcción al trabajo colaborativo "completo" será progresivo, y se definirán niveles distintos (del 0 al 3) en donde el *National Building Specification* (NBS) el cual es un sistema de especificaciones de construcción con sede en el Reino Unido explica las definiciones de estos tres niveles (Ver Figura 6) (McPartland, BIM Levels explained, 2014)

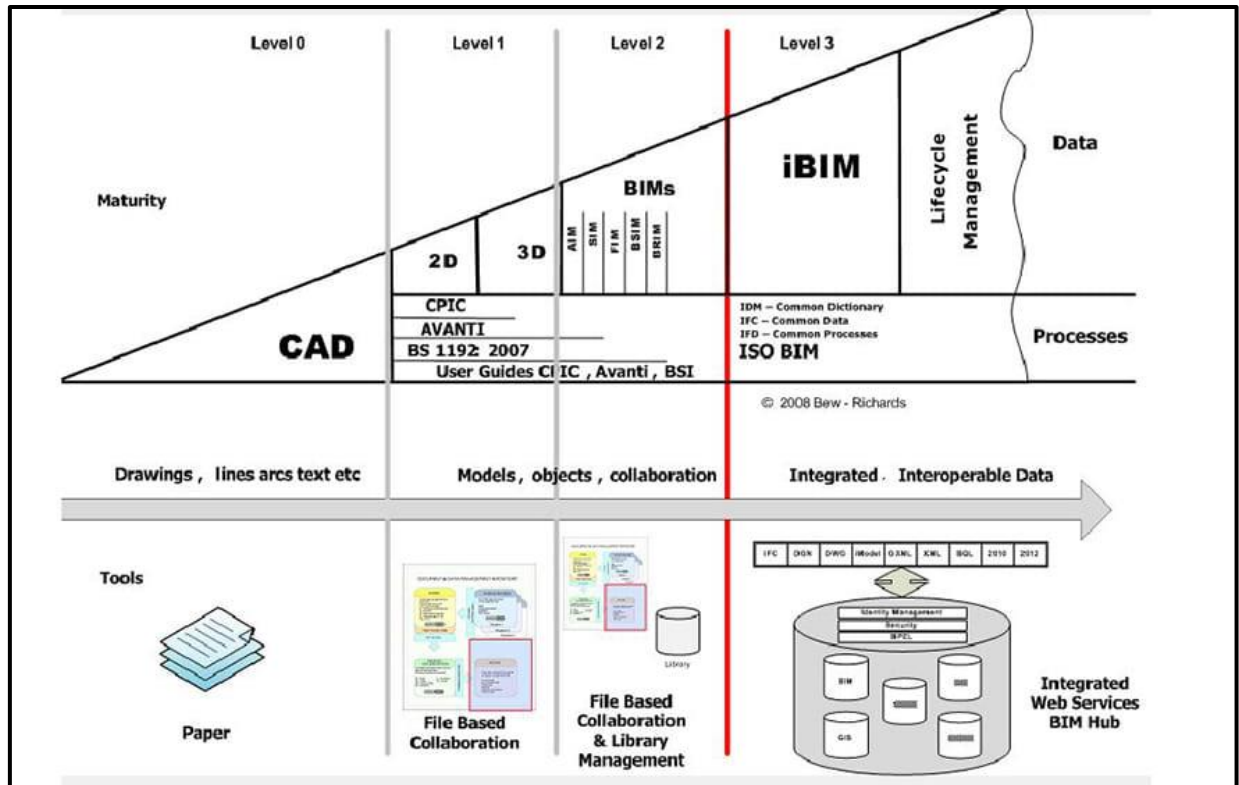


Figura 6: Niveles del BIM

Tomado de: (McPartland, BIM Levels explained, 2014)

- **Nivel 0:** El nivel 0 se define que no existe colaboración. Sólo se utiliza el diseño de CAD en 2D, principalmente para información de producción (RIBA *Plan of Work* 2013). Los dibujos se realizan a través de papel a mano o de forma electrónica mediante un ordenador, o una combinación de ellas. La mayoría del sector de la construcción se encuentra por delante de este nivel. (McPartland, BIM Levels explained, 2014)

- **Nivel 1:** En el nivel 1 se mezcla el CAD 3D para el concepto de trabajo colaborativo y el 2D para la redacción de documentación de aprobación e información de producción, pero cada disciplina maneja sus propios documentos. La colaboración de intercambio de información en este nivel se comparte a través de una plataforma llamada Entorno de Datos Común, conocido como el CDE, en donde generalmente está administrado por el contratista principal. En este nivel es el que actualmente la mayoría de las empresas en el sector de la construcción están trabajando actualmente.

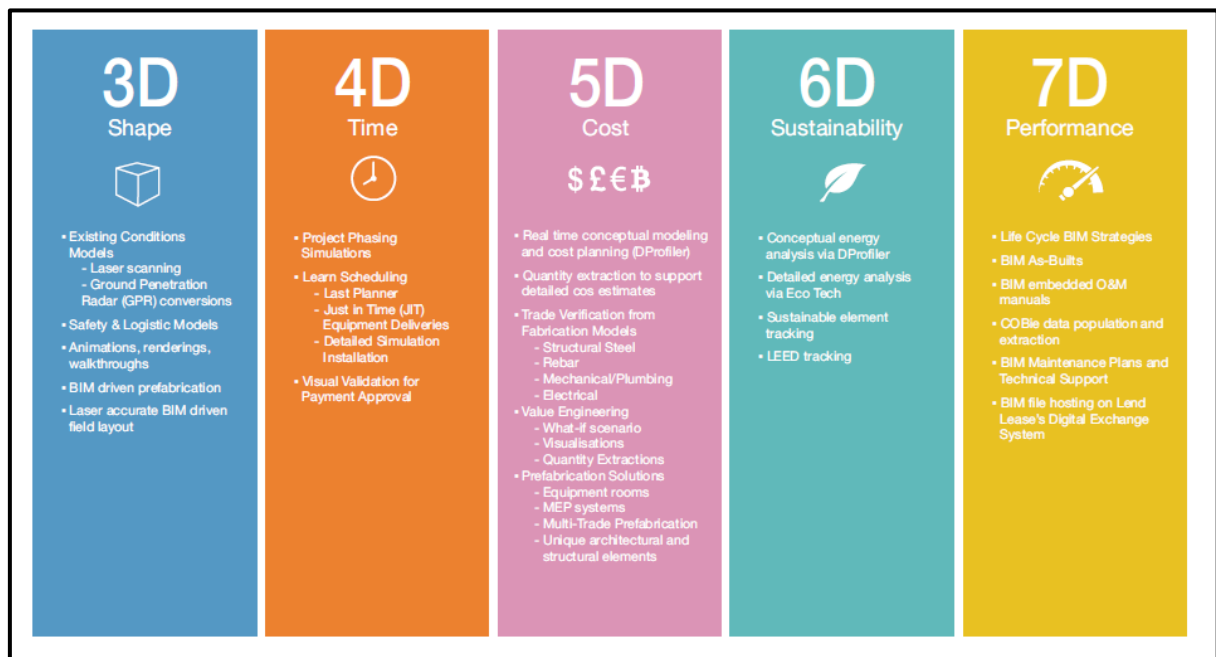
Según el Fondo Futuro de Escocia, para llegar al Nivel 1 BIM, es necesario lograr los siguientes puntos:

- Los roles y responsabilidades deben ser acordados.
  - Convenciones de nombres deben ser adoptadas.
  - Se deben establecer acuerdos para crear y mantener los códigos específicos del proyecto y la coordinación espacial del proyecto.
  - Se debe adoptar un "entorno de datos comunes" (CDE), por ejemplo, una extranet del proyecto o un sistema de gestión de documentos electrónicos (EDMS), para permitir que la información se comparta entre todos los miembros del equipo del proyecto.
  - Se debe acordar una jerarquía de información adecuada que respalde los conceptos del CDE y el repositorio de documentos.
- 
- **Nivel 2:** En este nivel, la principal característica es el trabajo colaborativo. Todos los agentes involucrados a un proyecto tienen su propio modelo 3D. Es importante que todas las personas del proyecto se intercambien la información y todos los cambios para que se lleva a cabo este nivel. Esta manera de trabajar fue dirigida por el gobierno de Reino Unido en el año 2016 para todos los proyectos de sector público como se nombró anteriormente. (McPartland, BIM Levels explained, 2014)
- 
- **Nivel 3:** En este nivel todos los agentes involucrados en un proyecto deben trabajar en un sólo modelo, por lo que todas las personas del proyecto pueden acceder y modificar el modelo. Este único archivo se localizaría en una plataforma centralizada. Actualmente no hay registros de que ninguna empresa esté trabajando en Nivel 3, pero

se están trabajando con diferentes herramientas para llegar a ello. (McPartland, BIM Levels explained, 2014)

### 1.1.5 Las dimensiones del BIM

Usar la metodología BIM en un proyecto de construcción, nos brinda mayores detalles con información más específica para tener un mejor entendimiento del proyecto, como por ejemplo su forma geométrica, el tiempo de construcción, su costo, su sustentabilidad y finalmente su operación y mantenimiento. En la imagen a continuación (Ver Figura 7) llamada “Dimensiones del BIM” extraída del informe de (Kinnaird, Christopher, & Geipel, 2017) llamado “Tecnología Blockchain” de la empresa Arup, se observan las diferentes dimensiones que ofrece un proyecto mediante el uso del BIM.



**Figura 7:** Dimensiones del BIM

Tomado de: (Kinnaird, Christopher, & Geipel, 2017)

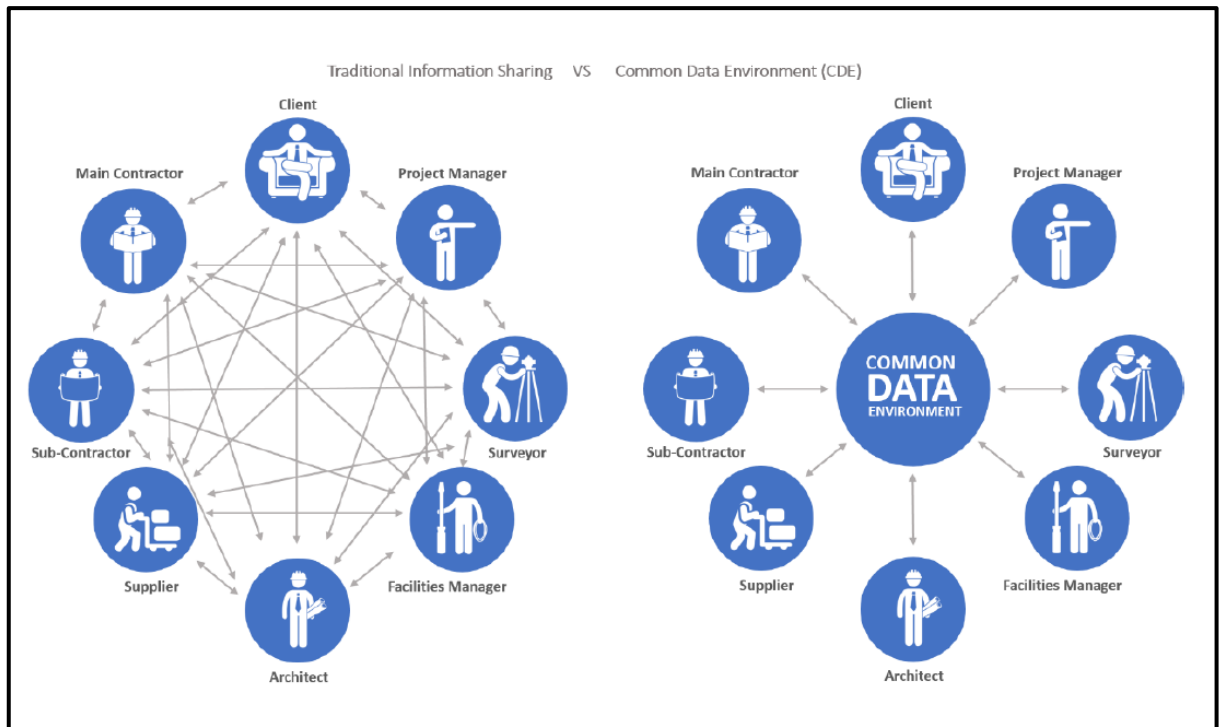
- **3D: La forma tridimensional.** Se desarrolla el modelo en 3D usando un software y compartiendo esta información en el Entorno de datos comunes (CDE). Estos datos introducidos al modelo se van modificando hasta llegar a un modelo final establecido por el cliente.
- **4D: El tiempo.** Mediante las herramientas del BIM , nos ofrecen una estimación del tiempo en el que se ejecutará el proyecto. Mediante una planificación de las distintas

fases que involucra la construcción de una estructura. Esta planificación puede variar dependiendo si se le van agregando o eliminando objetos o elementos al proyecto

- **5D: El costo.** Al tener todos los datos introducidos al modelo de los distintos objetos que se desea modelar, se procede a la estimación de costes del proyecto mediante la elaboración de un presupuesto dentro del mismo software que se está utilizando. Esta información permite a los administradores de costos extrapolar fácilmente las cantidades de un componente dado en un proyecto, aplicando tasas a esas cantidades, y de ese modo alcanzar un costo general para el desarrollo. (McPartland, BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained, 2017)
- **6D: La sustentabilidad.** Trata de analizar la dimensión energética del proyecto y de desarrollarlo de la manera óptima y que sea lo más sustentable posible. Desarrolla un análisis de los distintos elementos que tengan un desarrollo sostenible. (McPartland, BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained, 2017)
- **7D: El mantenimiento.** El modelo como incluye toda la información de los distintitos elementos del proyecto, como por ejemplo el fabricante de un componente, su fecha de instalación, el mantenimiento requerido y detalles sobre cómo debe configurarse y operarse el artículo para obtener un rendimiento óptimo, rendimiento energético, junto con datos sobre la vida útil y el cierre del servicio, se tendría una fase de operación y mantenimiento de manera más eficiente y óptima. (McPartland, BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained, 2017)

#### **1.1.6 ¿Qué es el Entorno C6mun de Datos (CDE)?**

En el entorno BIM, como se nombr6 anteriormente en los diferentes niveles del BIM, en el nivel 2 se trabaja de manera colaborativa mediante todos los agentes involucrados del proyecto, y por lo tanto el intercambio de informaci6n y datos se hace mediante un entorno de datos comunes (CDE), que por lo contrario de la manera tradicional todos los agentes se intercambian informaci6n individualmente uno con el otro. (Ver Figura 8)



**Figura 8:**Entorno de datos Comunes (CDE)

Tomado de: (Mordue, 2018)

Según Stefan Mordue define CDE como la solución tecnológica que permite un trabajo colaborativo. Un CDE es una parte fundamental para entregar BIM al proporcionar un espacio digital para almacenar, administrar y participar con la información del proyecto. (Mordue, 2018)

El trabajo esencialmente colaborativo significa que todos se benefician más de lo que lo harían individualmente. A través de la mejora de la gestión de datos y la colaboración dentro de los proyectos, esto ayudará a la industria a brindar mayores eficiencias a través de las etapas de diseño, construcción y operación de un proyecto.

Según el *National Building Specification* (McPartland, What is the Common Data Environment (CDE)?, 2016) del Reino Unido, el CDE sirve como la última fuente de la “verdad” y trae las siguientes ventajas a los agentes del proyecto:

- La información compartida debe dar como resultado datos coordinados que, a su vez, reducirán tanto el tiempo como el costo de su proyecto.
- Todos los miembros del equipo del proyecto pueden usar el CDE para generar los documentos / vistas que necesitan usando diferentes combinaciones de los activos centrales, confiando en que están usando los activos más recientes (como otros).

- La coordinación espacial es inherente a la idea de utilizar un modelo centralizado.

## 1.2 Blockchain

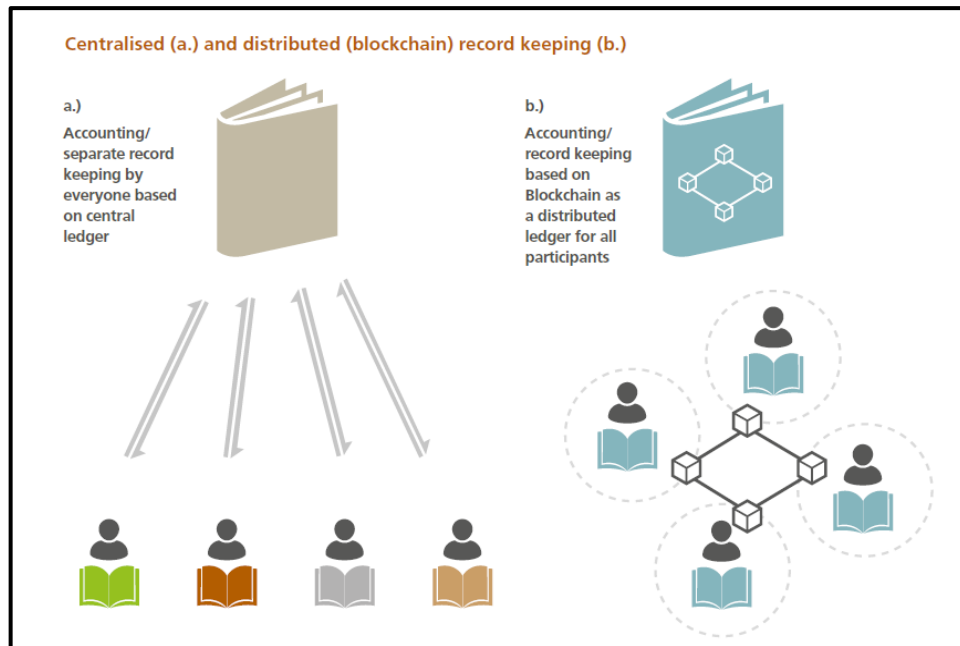
### 1.2.1 ¿Qué es el Blockchain?

La palabra “Blockchain” se escucha cada vez más, pero a veces es difícil explicar o entender su significado. Así como ocurre con el BIM, existen distintas maneras de expresar el significado de Blockchain, a continuación, se establecerán varias definiciones.

En primer lugar, la consultora de ingeniería Arup publica un informe llamado “*Blockchain Technology*” donde define el Blockchain como:

*“Es un registro de transacciones digitales, pero en lugar de estar centralizado y controlado, como la mayoría de las bases de datos lo son hoy, está descentralizado y no está bajo el control de ningún individuo, grupo o empresa”.* (Kinnaird, Geipel, & Bew, 2017)

A continuación, se presenta una imagen en donde se refleja un libro de contabilidad con un servidor central vs uno distribuido. (Ver Figura 9)



**Figura 9:** Servidor central vs distribuido

Tomado de: (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)

Según Raquel Gárces, que pertenece a la firma de consultoría PriceWaterhouseCoopers (PwC) **Blockchain** se define como:

*“Un libro de contabilidad compartido por los usuarios a través de una red de ordenadores conectados entre sí para intercambiar datos sin necesidad de un servidor central, que se actualiza constantemente y en el que todas las transacciones quedan grabadas en unos bloques. Estos registros, que están encriptados y unidos en cadena mediante complejos algoritmos, no se pueden modificar y son prácticamente imborrables”* (Gárces, 2016)

Por otro lado, Montse Guardia, directora de innovación y transformación del Banco Sabadell define Blockchain como:

*“Una tecnología llamada a descentralizar los modelos de negocio y a permitir el intercambio de valor directamente entre personas y empresas. Esto podría poner en peligro el papel que juegan actualmente las plataformas o, por el contrario, podría resultar en una infraestructura idónea para desarrollar modelos más eficientes y confiables”* (López, 2018)

Según JP Morgan Chase, Blockchain se define como:

*“Blockchain (referido como Distributed Ledger Technology) es un libro de contabilidad de transacciones de base de datos compartida por todas las partes en una red distribuida que registra y almacena cada transacción que se produce en la red, creando un historial de transacciones irrevocable y auditable.” (Auty, 2018)*

Una vez definido técnicamente lo que significa el Blockchain, para entenderlo mejor, la empresa española Bit2me lo explica a través de esta metáfora:

*“Imagina que vas caminando por la calle y, de repente, un suricato volador de proporciones pantagruélicas aterriza en una plaza llena de gente, se come los helados de todos los niños que hay en ella, suelta dos chillidos enormes y se va igual que ha venido. Sin un segundo que perder, se coloca un detector de mentiras a las 1.000 personas que han sido testigos y se registra exactamente qué es lo que han visto. Todos cuentan la misma historia con idénticos detalles. ¿Habría alguna duda al respecto del aterrizaje del suricato volador?”*

Esta metáfora refleja como si las 1000 personas fuesen una red distribuida y cada persona fuese un ordenador, en donde todos los ordenadores tienen registrado la misma información, por lo que se genera una mayor confianza en la información.

### **1.2.2 Reseña histórica del Blockchain**

Esta nueva tecnología conocida como Blockchain inició a finales del año 2008, justo después de la crisis financiera del sector inmobiliario, en donde una persona o grupo de personas con el pseudónimo Satoshi Nakamoto publicó un documento en la web llamado *“Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”* (Nakamoto, 2008) en donde explicaba que había creado una manera de transferir dinero digital de un punto A a un punto B, sin la necesidad de pasar por una institución financiera o un intermediario que es la manera tradicional de transferir dinero a través de un banco. Por lo tanto, el esqueleto del funcionamiento de este proceso de transacciones entre dos agentes sin pasar por un intermediario es a través del Blockchain. Este valor monetario digital es conocido como la criptomoneda Bitcoin. Posteriormente a mediados del año 2011, Vitalik Buterin empieza a investigar acerca del Bitcoin y a finales del año 2013, observó que lo que había creado Satoshi Nakamoto también funcionaba para otras aplicaciones y entonces publica el documento llamado *“A next generation smart contract & decentralized*



*application platform*” (Buterin, 2013) en la que crea la plataforma Ethereum a través de la cual cualquier programador podría crear sus propias aplicaciones descentralizadas, así como también otras criptomonedas. Uno de los puntos más importantes del Ethereum es el uso de los *Smart Contracts*, cuya definición según Nick Szabo, son un conjunto de condiciones establecidas, que en el momento donde se cumplen esas condiciones, se ejecutan inmediatamente unas; todas estas características se utilizan con la moneda conocida como Ether a través del Blockchain. En la actualidad, con la ayuda de la plataforma de Ethereum y otras plataformas se han creado cientos de criptomonedas a través del Blockchain.

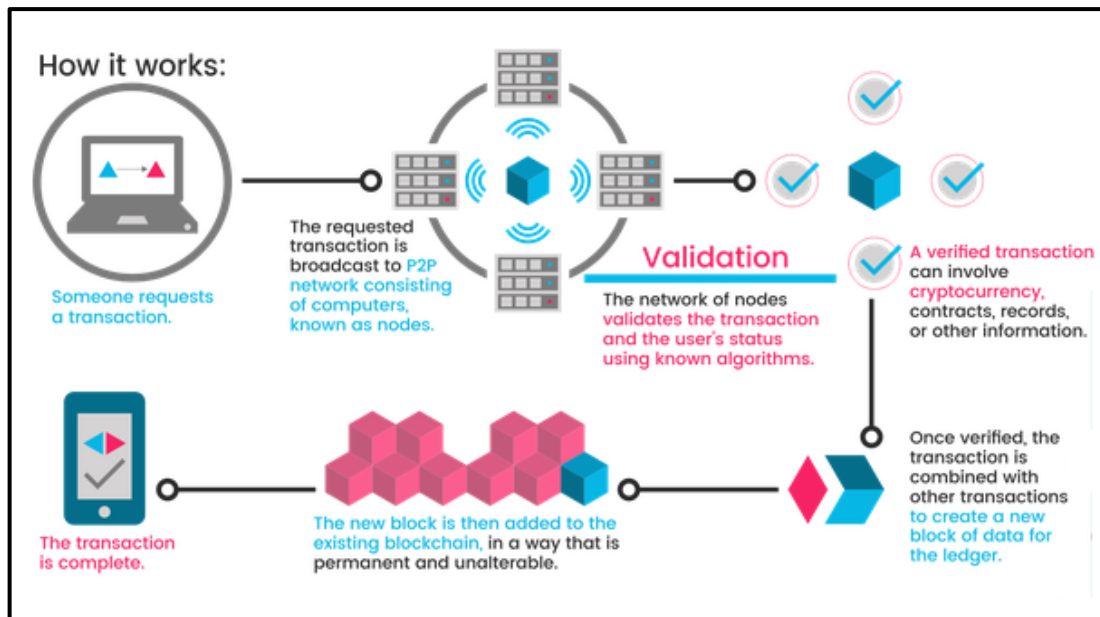
### 1.2.3 ¿Cómo funciona el Blockchain?

Si tomamos como ejemplo para explicar el funcionamiento de una transacción entre dos personas, el proceso es el siguiente. Primero se inicia la transacción mediante dos personas, la persona A le quiere enviar un valor a la persona B, este inicio de transacción se transmite manera encriptada y distribuye a todos los ordenadores de forma **peer-to-peer**<sup>1</sup>, almacenando todos los datos recibidos en un bloque para empezar el **proceso de verificación** de la transacción, en donde este proceso de validación busca verificar que estas dos personas o agentes realmente puedan hacer la transacción que desean realizar. Este proceso de validación se hace mediante consenso entre usuarios perfectamente identificados mediante algoritmos los cuales utilizan un **hash**, este hash se define como una serie de números y letras generados a partir de la información guardada en el **bloque**. Así pues, si algún dato de cualquier transacción es manipulado o resulta dañada durante la transmisión de ésta, el algoritmo se ejecutará en el bloque erróneo. Este hecho impedirá generar el hash correcto y por consiguiente anunciará un error de validación. Este proceso de verificación lo hacen los llamados **mineros**, que son ordenadores especiales con grandes capacidades de procesar datos e información rápidamente mediante la prueba de trabajo en el caso del Blockchain de bitcoin, y como recompensa de validar esta transacción, la red les paga a los mineros en la criptomoneda llamada **bitcoin**. Finalmente, una vez validada la transacción por la red, está información queda registrada en un bloque nuevo que se añade al bloque anterior que había registrado en la red, formando una **cadena de bloques** (Blockchain) y así sucede sucesivamente en donde las transacciones se van añadiendo en los bloques de forma cronológica, siendo inmutable, es decir, una vez ya está validada y metida la información en la cadena de bloques no se puede ni eliminar ni modificar.

---

<sup>1</sup> **Peer-to peer**: Es una red de ordenadores en la que todos o algunos aspectos funcionan sin clientes ni servidores fijos, sino una serie de nodos que se comportan como iguales entre sí.

Finalmente se realiza la transacción de la persona A a la persona B. A continuación, se muestra una imagen explicado el proceso de una transacción a través del Blockchain. (Kinnaird, Geipel, & Bew, 2017)(Ver Figura 10)



**Figura 10:**Funcionamiento del Blockchain

Tomado de: <https://www.quora.com/What-is-block-chain-transaction>

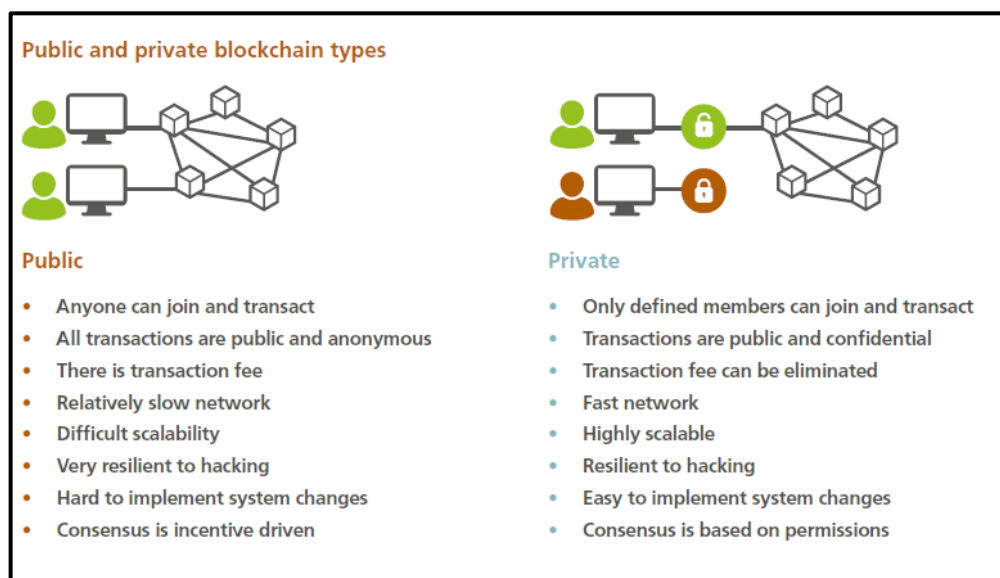
Para entender el funcionamiento mejor, lo describimos con un ejemplo: Mariano quiere enviarle a Luis un Bitcoin, por lo tanto, lo primero que sucede es que Mariano desde su cartera digital avisa un mensaje a todos los ordenadores dentro de la red que quiere enviarle un Bitcoin a Luis, entonces lo primero que hace la red es comprobar que la cartera de origen tiene el dinero suficiente para enviarle un Bitcoin a Luis. Al ser confirmado, todos los ordenadores anotan dicha transacción que forma parte del bloque de transacciones, cuyo bloque tiene una capacidad limitada que puede almacenar, entonces cuando el bloque ya no admite más información, llega el momento de validación por parte de los llamado mineros que hace que lo registra en el bloque mediante la realización de cálculos matemáticos, en donde una vez resuelto, este minero recibe una recompensa en bitcoins y finalmente se añade a la cadena de bloques. Finalmente, una vez sucedido esto, Luis recibe el Bitcoin que le envió Mariano. (Pastor, 2017)

#### 1.2.4 Blockchain públicos y privados

El Blockchain de Bitcoin, es público, sin embargo, posteriormente se crearon los Blockchain privados, a continuación, se explicarán las características de cada uno de ellos.

Cuando se trata de un Blockchain público como es el caso de Bitcoin y Ethereum, cualquier persona puede ser parte de la red y empezar a validar transacciones contribuyendo con la cadena de bloques usando los ordenadores en cualquier lugar, siendo este Blockchain más seguro como consecuencia de tratarse de un Blockchain realmente descentralizado. Todas las transacciones son anónimas y cualquier persona a través de la web puede tener acceso a ellas. En otras palabras, no existe ningún tipo de restricción para entrar en este tipo de Blockchain también llamado como abierto.

A continuación, se presenta una imagen de las características principales entre el Blockchain público y privado (Ver Figura 11)



**Figura 11:** Blockchain Público vs Blockchain Privado

Tomado de: (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)

Cuando se trata de un Blockchain privado, existe restricción de acceso a algunos usuarios a la red mediante una institución como por ejemplo las compañías financieras, con la finalidad de tener una mayor gobernanza y tener el control de la red, siendo este tipo de Blockchain más centralizado, cosa que difiere de los fundamentos de Satoshi Nakamoto. De hecho, para poder integrarse a la red, sería necesario recibir una invitación por parte de los desarrolladores de ésta. En este caso, el operador será la autoridad central la que verifica el proceso de las transacciones. Un ejemplo de este tipo de Blockchain es el Hyperledger Fabric creado por la Fundación Linux en donde la empresa IBM fue el contribuyente principal y creó una de las primeras *Blockchain*

as A Service (BaaS) para una empresa. Ellos controlan el acceso en quienes pueden entrar a este Blockchain y de lo que se hace dentro de la misma. (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)

### 1.2.5 ¿Qué son los *smart contracts*?

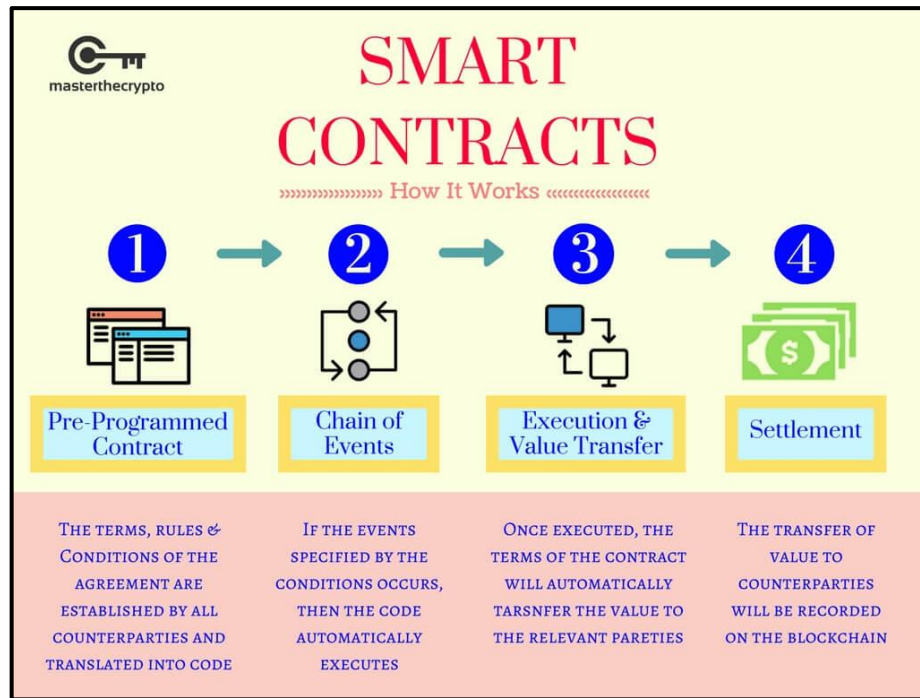
Una vez entendida la definición y el funcionamiento del Blockchain, aparece uno de los usos más importantes que se le ha dado a esta tecnología gracias a la creación del Ethereum Blockchain, son los denominados contratos inteligentes o *Smart Contracts*.

Este término fue por primera vez utilizado en el año 1996 por el científico informático, académico y criptógrafo Nick Szabo que lo define como:

*“Un conjunto de condiciones establecidas, que en el momento donde se cumplen esas condiciones, se ejecutan inmediatamente unas. Los protocolos generalmente se implementan con programas en una red informática o en otras formas de electrónica digital, por lo que estos contratos son “más inteligentes” que sus antecesores en papel”* (Tapscott, 2018)

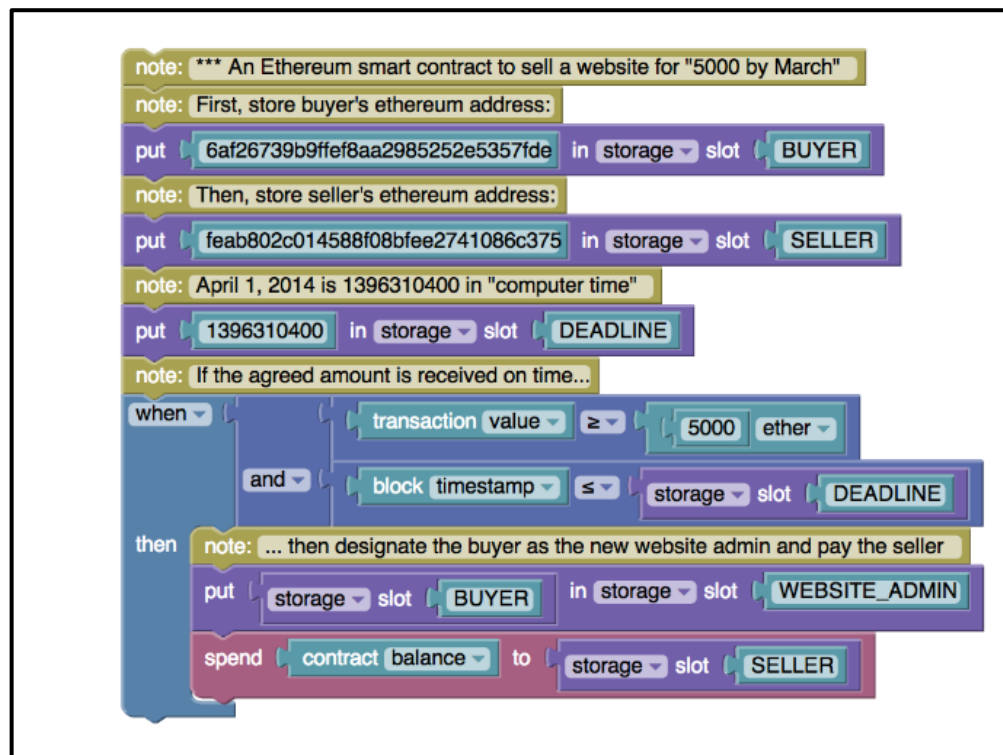
Los autores Don y Alex Tapscott en el libro de *Blockchain Revolution* mencionan la metáfora de una máquina dispensadora como si fuese un *Smart contract*. La máquina dispensadora tiene las mismas propiedades que los *Smart contracts*, ya que, tiene funciones programadas con condiciones que al cumplirse se ejecutan automáticamente varias acciones. Siguiendo el ejemplo, si Bob pone unos 25 céntimos de dólar en la máquina dispensadora, entonces recibirá una lata de refresco; y si Alicia pone un billete de un dólar, recibirá una lata de refresco y un cambio de setenta y cinco centavos de dólar. (Tapscott, 2018)

Para entender mejor el proceso de un *Smart contract*, a continuación, se muestran dos imágenes; la primera explica el proceso (Ver Figura 12) y la segunda es un ejemplo de la programación con las condiciones (Ver Figura 13)



**Figura 12:** Proceso de un Smart Contract

Tomado de: <https://masterthecrypto.com/ethereum-what-is-gas-limit-gas-price/>



**Figura 13:** Ejemplo de transacción de Smart Contract

Tomado de: [https://etherscripter.com/what\\_is\\_ethereum.html](https://etherscripter.com/what_is_ethereum.html)

Los *Smart contracts* son uno de los potenciales y aspectos más interesantes de la tecnología Blockchain, a continuación, se describen tres características que los diferencian de otros tipos de software de programación.

- a) Los *Smart contracts* sólo se pueden registrar en una cadena de bloques, por lo tanto, brindan mayor seguridad, trazabilidad e inmutabilidad.
- b) El *Smart contract* controla la transferencia de activos en el Blockchain.
- c) Para cambiar las condiciones definidas previamente en el *Smart contract*, es necesario hacerlo mediante un consenso.

Los *Smart contracts* tienen un amplio campo de aplicación, es decir, no solamente para el sector financiero, sino también para los distintos sectores como por ejemplo el de la construcción, de la energía, el de educación, industrial y de salud.

### **1.2.6 Prueba de trabajo vs Prueba de participación**

Una vez explicado el proceso de una transacción en el Blockchain, existen dos tipos de pruebas durante el proceso de verificación, la prueba de trabajo conocida como *proof of work* y la prueba de participación conocida como *proof of stake*.

Primero tenemos la prueba de trabajo conocida como *Proof of Work*, el cual es un protocolo que resuelve algoritmos matemáticos que tiene como objetivo evitar los ciber ataques. La prueba de trabajo determina cuáles de los bloques se agregará a la cadena de bloques luego de haber sido minado de manera descentralizada por la misma red.

La prueba de trabajo se lleva a cabo mediante problemas matemáticos complejos y variables, en donde los llamados “mineros” resuelven y trabajan para resolver estos problemas matemáticos, y como contraprestación reciben una recompensa en bitcoin (en el caso del Blockchain de bitcoin). La complejidad de estos problemas matemáticos dependerá de la cantidad de usuarios, la potencia y la carga de la red. Por lo tanto, a veces se necesita muchos intentos para poder resolver estos algoritmos causando mucho trabajo, entonces es necesario un ordenador con grandes procesadores de información teniendo como consecuencia un gran consumo eléctrico. Un ejemplo de este tipo de protocolo que se usa hoy en día es en las criptomonedas Bitcoin, Ether, Zcash, Litecoin y otras. (Herrera, 2018)

A continuación, se muestra una imagen (Ver Figura 14) en donde describen las características del *Proof of Work* y el *Proof of Stake*.



**Figura 14:** Prueba de Trabajo vs Prueba de participación

Tomado de: <https://hackernoon.com/consensus-mechanisms-explained-pow-vs-pos-89951c66ae10>

Por otro lado, se tiene la prueba de participación conocida como *Proof of Stake*, ésta tiene el mismo objetivo que la anterior que es validar transacciones de manera descentralizada en todos los usuarios en la red, con la gran diferencia que no resuelve algoritmos tan complejos como la prueba de trabajo, y por lo tanto no necesita un ordenador con gran capacidad, reduciendo bastante el consumo de energía. Pero para ese tipo de prueba, lo más importantes es la cantidad de monedas almacenadas en el sistema, siendo esto un poco menos descentralizado, ya que, el que tenga más monedas, agrega el bloque en la cadena de bloques, por lo tanto, teniendo gobernanza en el sistema. Una característica relevante de la prueba de participación es que todos los bloques ya fueron previamente minados, es decir, se fija una cantidad en suministro de criptomonedas desde el principio, por lo que no se pueden extraer nuevos bloques. A estos

nodos se les denominan *forgers* y no mineros. Un ejemplo de este proceso de verificación es la criptomoneda XRP, y según Vitalik Buterin, el ether pasará de prueba de trabajo a prueba de participación en los próximos años. (T. Norman, 2017)



## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

La metodología de investigación se aborda a través de un enfoque teórico de tipo cualitativo, el cual consiste principalmente en la obtención del estado del arte de la adopción de estas dos nuevas tecnologías dentro del sector de la construcción llamadas BIM y Blockchain.

En vista de que este tema es muy novedoso, la mayor fuente de información no está escrita en libros, por lo tanto, se tuvieron que acudir a otras herramientas de fuentes información como por ejemplo entrevistas, artículos de revistas, artículos e informes de universidades y empresas que actualmente se encuentran estudiando estos temas, entre otros.

Entre las aproximaciones más relevantes de esta investigación, se encuentran las siguientes:

- Contacto a través de correo electrónico con Chris Kinniard, experto del área de Blockchain de la empresa ARUP.
- Entrevista telefónica con Arnaud Gueguen, CEO de la empresa francesa BIMCHAIN.
- Contacto a través de correo electrónico con Iris Belle, profesora de la Universidad de Tongji en Shanghai, especializada en cómo impactan las innovaciones tecnológicas en el entorno humano, ya sea económico, social o político.
- Contacto a través de LinkedIn con David Hughes, consultor Blockchain, director de la empresa HANGA LTD, especializada en innovaciones tecnológicas en el sector de la construcción.

También se intentó contactar a otras veinte empresas y personas involucradas en este mismo sector, pero no se ha conseguido respuesta.

En este trabajo de investigación se realiza el estudio sobre en qué etapa se encuentra actualmente la industria de la construcción con la adopción del uso de estas dos tecnologías en conjunto que es el BIM y el Blockchain.

Como base de la mayor parte de la información recopilada, es a través de los informes que han publicado la empresa ARUP, llamado “*Blockchain Technology*” y la Institución de Ingenieros Civiles de Reino Unido, llamado “*Blockchain Technology in Construction*”.

Por lo tanto, luego de las entrevistas y toda la información recopilada de las distintas fuentes, el análisis de esta investigación se ha dividido en tres puntos separados.

- ¿Cómo el Blockchain puede trabajar usando la metodología BIM trabajando en un Entorno Común de Datos descentralizado?
- El uso de los *Smart contracts* durante todo el ciclo de del proyecto.
- El uso del Blockchain con el BIM para mejorar la cadena de suministro de los objetos y materiales usados en la construcción.

Finalmente, luego de analizar y desarrollar las ventajas que tendrían estas dos tecnologías funcionando conjuntamente en el sector de la construcción, se tendrían unas conclusiones generales de lo analizado.

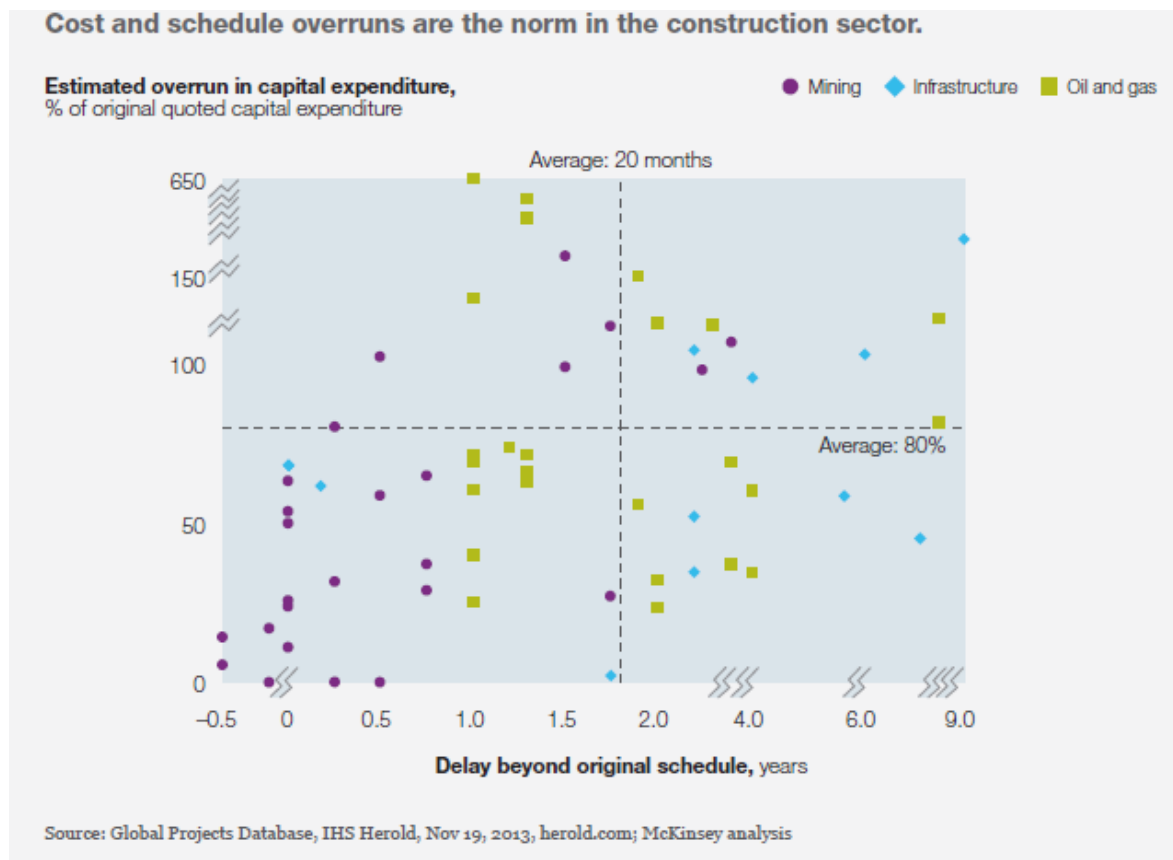
## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

*“La tecnología detrás del Bitcoin podría transformar en cómo funciona la economía actualmente”*

*The Economist, 2015*

### 4.1 Estudio de las innovaciones tecnológicas en el sector de la construcción

Según un estudio de la consultora McKinsey, (Agarwal, Chandrasekaran, & Sridhar, 2016) *“Imagining Construction Digital Future”* del año 2016, el sector de la construcción está preparado para una mejora tecnológica. El sector de la construcción ha sido lento para adaptar nuevos procesos constructivos e innovaciones tecnológicas, así como también la optimización de procesos en la cadena de suministros. Este estudio afirma que los grandes proyectos de construcciones se retrasan un 20% en el tiempo programado de entrega y tienen un sobrecoste del 80% (Ver Figura 15)



**Figura 15:** Tiempo y sobrecostes en el sector de la construcción

Tomado de: (Agarwal, Chandrasekaran, & Sridhar, 2016)

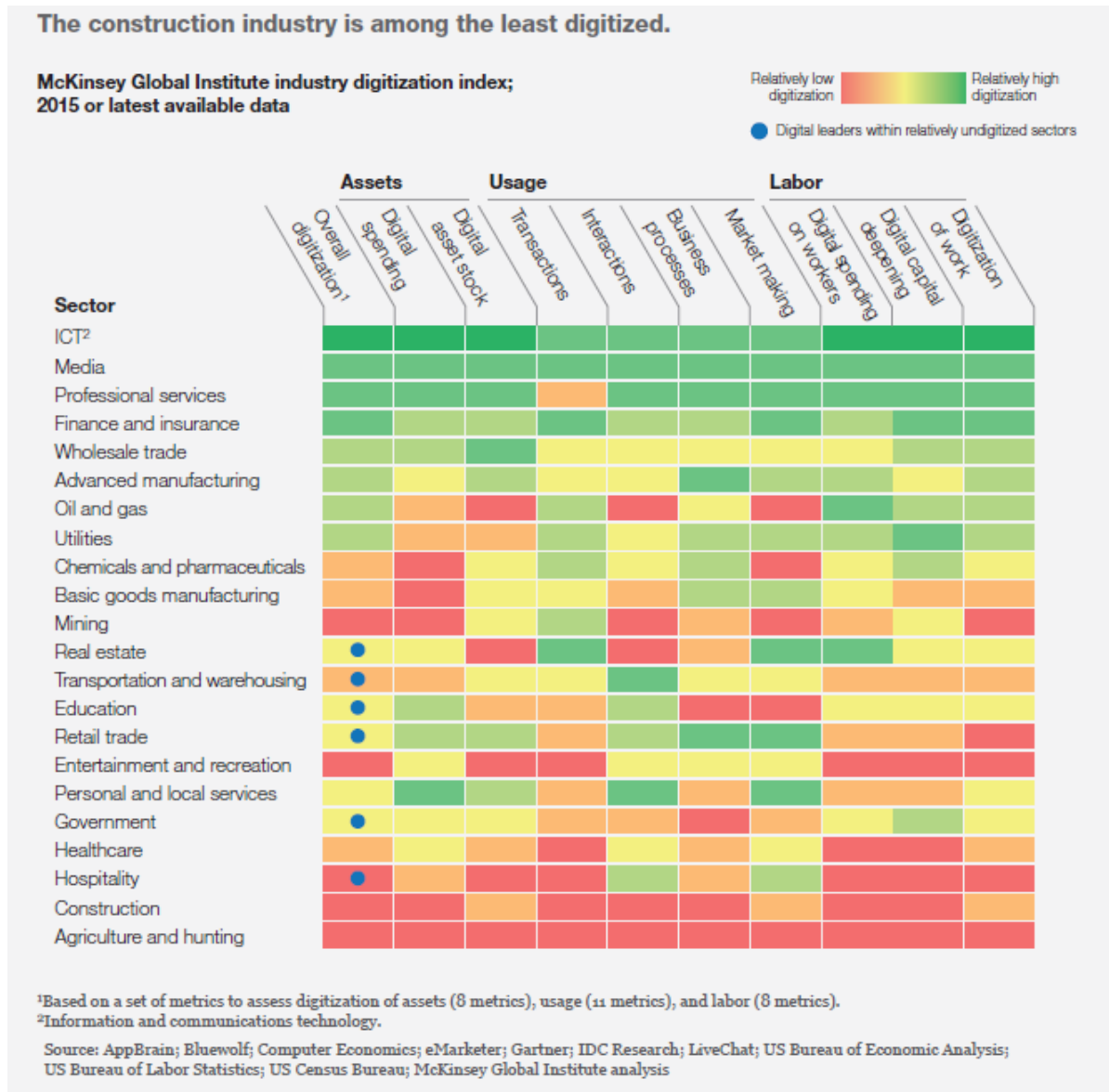
Desde el inicio del año 1990 la productividad del ámbito de la construcción ha disminuido y las ganancias de los contratistas se encuentran muy bajos y a la vez volátiles. (Ver Imagen 16)



**Figura 16:**Productividad en el sector de la construcción

Tomado de: (Agarwal, Chandrasekaran, & Sridhar, 2016)

Esta industria aún no ha adoptado nuevas tecnologías digitales. Incluso si las ganancias son significativas e importantes a largo plazo, estas innovaciones tecnológicas que requieren una inversión inicial no han sido adoptadas por esta industria. La industria de la construcción no ha cambiado sus métodos de trabajos artesanales, siendo éstos menos eficientes, teniendo como consecuencia menor productividad, calidad y perdiendo su valor monetario. A continuación, se presenta un gráfico en donde se observa la adopción de la tecnología digital de los distintos sectores (Ver Imagen 17). A través de él se evidencia que el sector de la construcción se encuentra en la penúltima posición (por encima del sector de la agricultura) en donde en sus tres distintas áreas (Activos, Uso y Labor) no menos que evoluciona digitalmente, no teniendo innovaciones ni procesos nuevos, teniendo como consecuencia menos ahorro de dinero y tiempo.



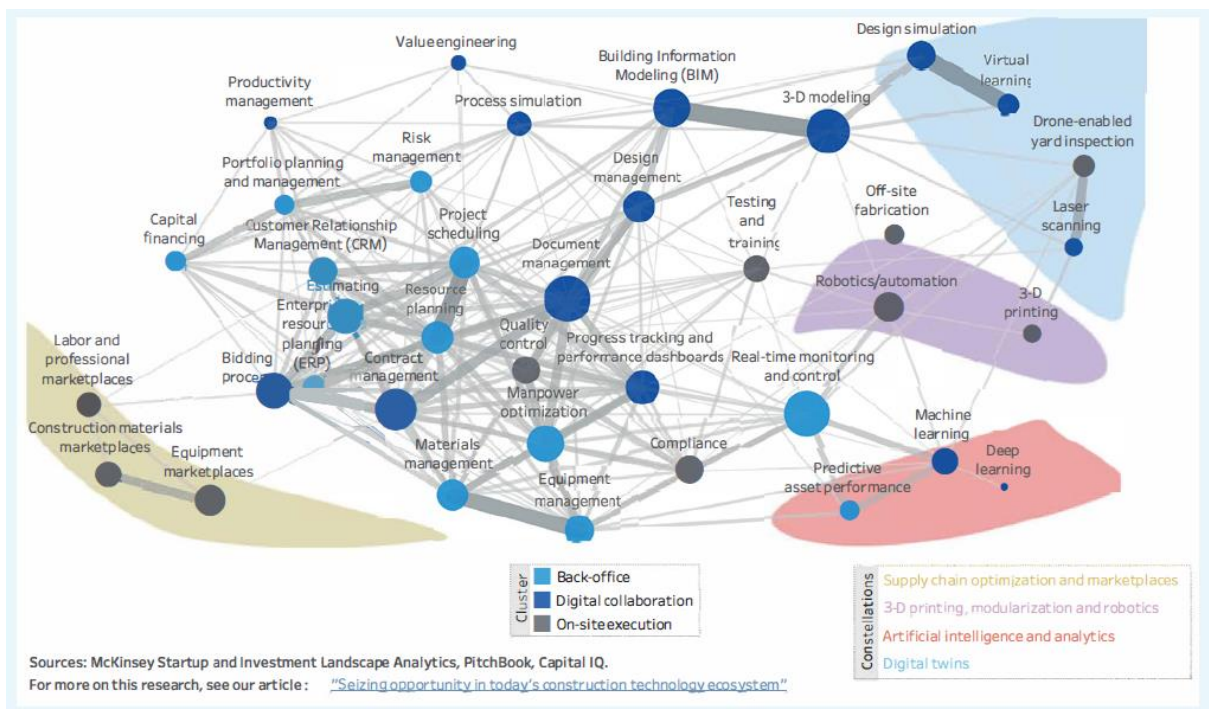
**Figura 17:**Adopción de nuevas tecnologías en los distintos sectores

Tomado de: (Agarwal, Chandrasekaran, & Sridhar, 2016)

El Instituto Global de McKinsey estima que el mundo tendrá que gastar \$57 billones en infraestructura para 2030 para seguir con el crecimiento mundial del Producto Interno Bruto (PIB). Este es un incentivo importante para que los protagonistas del sector de la construcción identifiquen soluciones para transformar la productividad y entrega de proyectos a través de nuevas tecnologías digitales y mejores procesos de optimización.

Por otro lado, en otro informe de la consultora Mckinsey, llamado “*Seizing opportunity in today’s construction technology ecosystem*” del año 2018, se analizaron aproximadamente

2400 compañías que ofrecían soluciones tecnológicas en el sector de la construcción durante el segundo cuatrimestre del 2018, y se presenta el siguiente gráfico (Ver Figura 18) en donde se analiza el ecosistema del avance tecnológico de estas compañías estudiadas alrededor de todo el mundo, en donde los trabajos se dividen en tres casos de uso: **i)** En la oficina (*Back-office*) **ii)** Colaboración digital (*Digital Collaboration*) **iii)** En el campo (*On site execution*) con el fin de buscar tendencias en torno a casos de uso establecidos. Las líneas más gruesas que conectan dos casos de uso indican un mayor número de compañías de tecnología que ofrecen ambas tecnologías simultáneamente. (Blanco, Mulin, Pandya, & Riberinho, 2018)



**Figura 18:** Estudio de soluciones tecnológicas en el sector de la construcción

Tomado de: (Blanco, Mulin, Pandya, & Riberinho, 2018)

En el gráfico se observa que las líneas más gruesas se encuentran principalmente en la colaboración digital, que involucra el uso de la metodología BIM, el modelaje 3D, y la gestión de documentación de obra, así como también la gestión de materiales y equipos en la oficina.

Una vez estudiado y analizado un poco de la historia de la evolución y la implementación de nuevas tecnologías en el sector de la construcción, empezaremos a analizar el impacto que tendrá esta industria al incorporar nuevas tecnologías como el BIM y el Blockchain.

Como se nombró en el capítulo anterior, en este análisis se describen tres puntos distintos nombrados a continuación:

1. ¿Cómo el Blockchain puede trabajar usando la metodología BIM trabajando en un Entorno Común de Datos descentralizado?
2. El uso de los *Smart contracts* durante todo el ciclo de del proyecto.
3. El uso del Blockchain con el BIM para mejorar la cadena de suministro de los objetos y materiales usados en la construcción.

#### **4.2 ¿Cómo el Blockchain puede trabajar usando la metodología BIM trabajando en un Entorno Común de Datos descentralizado?**

Todos estos modelos e información del proyecto se almacenan en una nube llamada Entorno Común de Datos (CDE) de manera centralizada, es decir, que está controlada por la empresa que es propietaria de esta nube, en donde todos los agentes involucrados del proyecto tienen acceso a ello. El hecho de que el Entorno Común de Datos sea centralizado, hace que ésta patenta problemas de seguridad y vulnerabilidad al hacking, ya que, si es hackeada la nube del servidor central, toda la información almacenada ahí se vería comprometida. Esto es un factor importante en casos como por ejemplo proyectos delicados o relacionados con edificaciones gubernamentales, estructuras de las fuerzas armadas nacionales, entre otros. Entonces una de las posibles soluciones a esta vulnerabilidad es un Entorno común de Datos descentralizada mediante el uso de la tecnología Blockchain, de manera que todas las personas involucradas al proyecto tengan una copia fiel de todos los documentos y modelos del proyecto. Según el informe de “*Blockchain Technology*” de la empresa ARUP, en Estados Unidos existe una compañía llamada Storj ofrece una plataforma con una nube descentralizada que tiene almacenada la información de manera encriptada en una red global de varios ordenadores. Este tipo nuevo de nube hace que la plataforma sea más rápida, más económica, y más segura con respecto a las plataformas centralizadas como las que existen hoy en día. Arup informa que la única problemática de estas nubes descentralizadas es que no son tan fáciles de usar, ya que las plataformas centralizadas que existen hoy en día tienen un interfaz más sencillo de usar, pero a medida que pase el tiempo, ya habrá otras plataformas similares a Storj que sean más fáciles de usar en un futuro, especialmente para clientes empresariales.

Hoy en día en el sector de la construcción en cualquier proyecto, se realizan muchos cambios o modificaciones del diseño durante la etapa de su construcción, y a veces estas modificaciones se pierden en el camino porque hay muchos agentes involucrados en el proyecto. Problemas como por ejemplo cuando se hacen cambios en un modelo BIM, el constructor no tiene idea de



dónde fue exactamente ese cambio en el proyecto, ni cuándo lo hizo, ni el porqué del cambio. Entonces, es importante resaltar que nadie pueda hacer cambios del modelo sin autorización, ya que cada agente es responsable de la información que comparte y de alguna manera tiene que asegurarse de que no sufra ninguna alteración.

Por lo tanto, como el Blockchain está diseñado para ser inmutable y tener una trazabilidad de cualquier transacción de manera extremadamente segura. Entonces las empresas de este sector pueden registrar cronológicamente los cambios que se realizan en el modelo BIM, y cuando quieran compartir estos cambios con agentes externos, una plataforma Blockchain haga que estos cambios estén totalmente encriptados (protegidos) y no puedan ser cambiados o manipulados. realizando transacciones basadas en Blockchain para modelos BIM aumentaría significativamente el nivel de transparencia de los datos compartidos, y por lo tanto aumentar la confianza entre los colaboradores del proyecto, que haría un largo camino hacia la reducción de la corrupción e ineficiencias causadas por conflictos contractuales.

Este informe de Arup describe que es poco probable que las soluciones de BIM con Blockchain tenga un uso global durante los próximos años, por lo cual el sector de la construcción ya estará en el Nivel 3 del BIM que es que todos los agentes del proyecto trabajen en un solo modelo ubicado en un solo lugar, posiblemente bajo la propiedad de un cliente. El modelo central puede ser modelo sustituto, es decir, combinando todos los modelos BIM de distintas áreas como por ejemplo el modelo de arquitectura, el de estructura e instalaciones, pero asegurando que cada agente tiene control sobre su propio modelo. Con el uso de Blockchain, se podría demostrar el derecho de autor de cada modelo u objetos individuales que lo conformen.

Usando la tecnología Blockchain, se podría demostrar la propiedad de ese elemento u objeto, tales como las definiciones de objetos BIM, y por lo tanto podría resolver problemas de pruebas de derecho de autor. Las definiciones de objetos BIM dentro de un modelo BIM podrían estar vinculados a una dirección de bitcoin y tener una trazabilidad en el Blockchain.

Por ejemplo, durante las etapas de diseño, dentro del modelo de instalaciones, el consultor podría crear una Unidad de Manejo de Aire (AHU) dentro de la definición de objeto en el modelo BIM y asociarlo con una dirección en el Blockchain, entonces, otros agentes trabajando en el modelo podrían observar que se ha creado la Unidad de Manejo de Aire pero no serían capaz de modificar o reclamar la propiedad de ese objeto. A medida que avanza el proyecto, la



propiedad de definición de objeto de la Unidad de Manejo de Aire podría ser transferida al contratista mediante el envío de una pequeña cantidad de bitcoins a su dirección para ese componente, dándole al contratista la propiedad exclusiva del objeto.

El CEO de la empresa de Autodesk, Andrew Anagnost, dijo lo siguiente en la conferencia en las Vegas en el 2018

“Pero hay un problema mayor en juego para usar Blockchain en este sector. Aquellos que no quieren un registro claro de quién hizo qué, cuándo y cómo”, a quién cree que sería difícil hacer cumplir. He estado en sitios de construcción, y he estado con verificadores de calidad. Están tomando fotos, y me doy cuenta de que a veces registran el problema y otras no. Así que les pregunto: ¿por qué no registraste eso? Oh, porque conozco a ese tipo, se lo contaré”. Entonces, el subcontratista que él conoce no registra sus problemas, pero el subcontratista que no conoce se registra” (Aki, 2018)

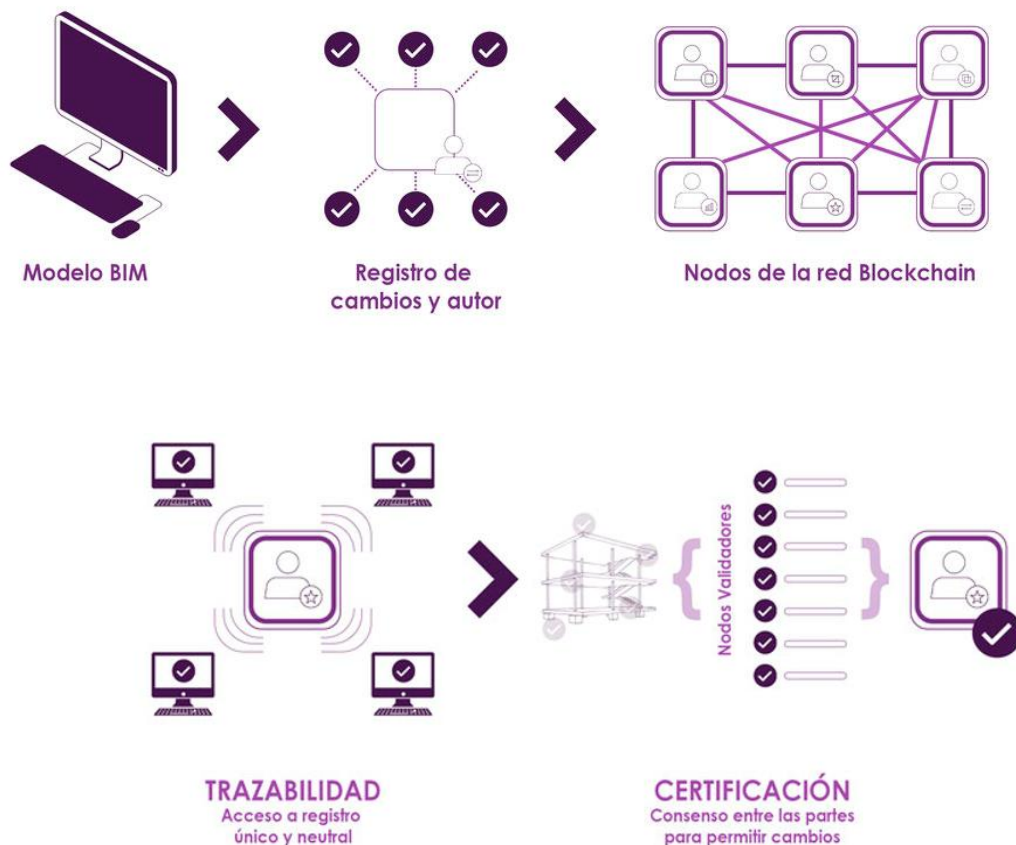
Resulta evidente que en los proyectos de construcción hay cambios constantes a lo largo del proyecto y no existe una buena trazabilidad ni registros de estos cambios y se pierde mucho tiempo y dinero como consecuencia de esta desinformación, pues no todas las personas involucradas saben con claridad lo que hay que ejecutar correctamente.

Otro ejemplo de este caso lo describe Fernando Valero, Director de Consultoría de Negocio e Innovación en Grant Thornton, con especialización en transformación y digitalización de procesos corporativos en construcción en el artículo para Building Smart Spain en donde describe que con el uso del Blockchain cada persona del proyecto contiene una copia exacta del modelo con su información, permitiendo tener una trazabilidad.

Hoy en día son varias las soluciones del mercado que permiten controlar los cambios en los modelos y permite tener un poco de seguimiento de los mismos. Pero siendo éste siempre permitiendo la trazabilidad de una empresa, institución u organismo que controla la evolución del proyecto. Sin embargo, la gran ventaja del Blockchain es que es distribuida, inmutable y transparente en todos los sentidos, entonces cómo es una base de datos distribuida, solamente se puede añadir o modificar la información del modelo, cuando se verifican entre todos los participantes de la red y proceden a la validación del consenso, ya que todos tienen una copia

almacenada y con acceso al mismo modelo, por lo tanto, si alguien quisiera modificar el proyecto, quedaría registrado.

Esta trazabilidad se refiere a tener con seguridad cuándo y quién realizó modificaciones en el modelo, dejando este cambio registrado e inmutable sobre cada objeto dentro del modelo BIM. Estos cambios están directamente vinculados a su autor, y por lo tanto esta información se vería en todos los servidores (nodos en la red) que tienen acceso al modelo, con el fin de evitar problemas al momento de identificar quiénes hicieron los cambios en el modelo. A continuación, en la imagen se refleja una secuencia de cómo sería el proceso de verificación y trazabilidad. (Ver Figura 19)



**Figura 19:** Trazabilidad y certificación en un modelo BIM

Tomado de: (Valero, 2018)

Para entender mejor lo explicado anteriormente, el autor lo explica mediante un ejemplo: Si el ingeniero de estructuras verifica un cálculo que estaba mal hecho y el modelo de estructura se

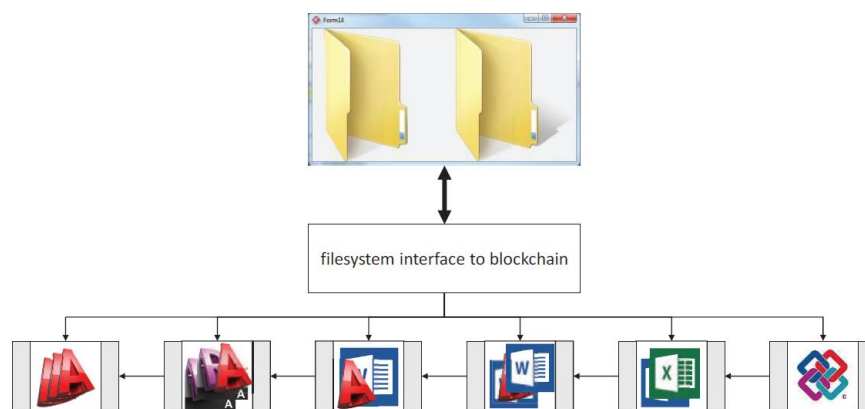
altera, dependiendo de las características del cambio como por ejemplo que el diseño estructural se encuentre en etapa de diseño, el modelo se modifica y el cambio queda certificado y es trazable, verificando que el ingeniero de estructuras es realmente quien inició el diseño desde un principio. Pero si por ejemplo el cambio se realiza una vez que el modelo del diseño estructural esté completado, y no posee los permisos para modificarlo, el cambio no se haría. En general, estos cambios se realizan de manera descentralizada, es decir, **necesitan tener los permisos de todos los agentes involucrados del proyecto para tener la validación de consenso y llegar al mismo acuerdo.** (Valero, 2018)

Por otro lado, también la empresa NASDAQ, una de las bolsas de valores más grande y reconocida en el mundo, publica un artículo en donde relaciona la descentralización de la información en el modelo en donde describe que en vez de confiar en una plataforma centralizada en donde se intercambia la información, con el Blockchain se podría tener un libro de datos distribuido. Las ventajas de trabajar de esta manera es que por ejemplo si un jefe de obra se da cuenta que un detalle del diseño del proyecto no se puede realizar, él realizaría un cambio o notificaría a los arquitectos y todas las personas involucradas en el proyecto, sabrán de esta modificación, de esta manera todos quedarían notificados de este cambio. Otro ejemplo que nota el artículo es si una vez te has preguntado en qué parte de la pared de tu casa puedes modificar para hacer una nueva instalación ya que no existe ningún registro detallado de lo que está detrás de la pared, por lo tanto si los planos o modelos de la casa hubiesen estado en el Blockchain de manera distribuida y accesible con su permiso de forma que la persona interesada tuviese acceso a ella, esta información estuviese ahí, por ejemplo, reflejaría la ubicación del cable en la pared para un futuro tomacorriente. (Tozzi, 2018)

Según el artículo científico escrito por Ziga Turk y Robert Klinc llamado *“Potencial of Blockchain Technology for Construction Management”* presentan cuatro distintas maneras de cómo se puede administrar la información del modelo BIM con el Blockchain. Es muy importante diferenciar la cantidad de transacciones, número de agentes y capacidad de la información almacenada para ser administrada entre la red del Bitcoin y la del BIM. Es decir, el blockchain de Bitcoin se trata de billones de transacciones entre millones de usuarios y aproximadamente representa 1Kilobyte para cada transacción, en cambio las transacciones de los modelos BIM son cientos de transacciones entre decenas de usuarios hasta un par de Gigabyte (GB) de cada transacción. (Turk & Klinc, 2017)

- Muy descentralizado y encadenado: En este escenario la información del modelo se copia al Blockchain. A través del Blockchain, se copian en todos los ordenadores de los agentes involucrados del proyecto mediante un *plug-in* al sistema operativo como si fuese por ejemplo una carpeta compartida de Dropbox, con la excepción de que todas las versiones de todos los archivos se almacenen y se mantiene una “última” versión validada de cada archivo. (Ver Figura 20) La empresa Fazoid realiza algo similar a esto dentro del mundo comercial.
- Poco descentralizado y encadenado: El principal problema de este caso es que el tamaño del Blockchain pronto crecerá hasta que exceda la capacidad de los ordenadores tal cual como le pasa al Blockchain de Bitcoin. Para que esto funcione sería la distribución del Blockchain a través de algunos agentes importantes del proyecto, pero solamente ofreciéndoles un “*wallet software*” a los clientes en las estaciones de trabajo. Así de esta manera al cliente le aparecerá que el archivo es local, mientras que en realidad es extraído del Blockchain y se almacena localmente dentro de la memoria caché sólo cuando es necesario. Por lo tanto, el socio del proyecto tiene acceso al archivo y el resto de los socios que quieran tener acceso a ello, lo tendrán.

La única diferencia entre el primer caso (muy descentralizado y encadenado) y el segundo (poco descentralizado y encadenado) es en la ubicación física del contenido en la cadena de bloques.



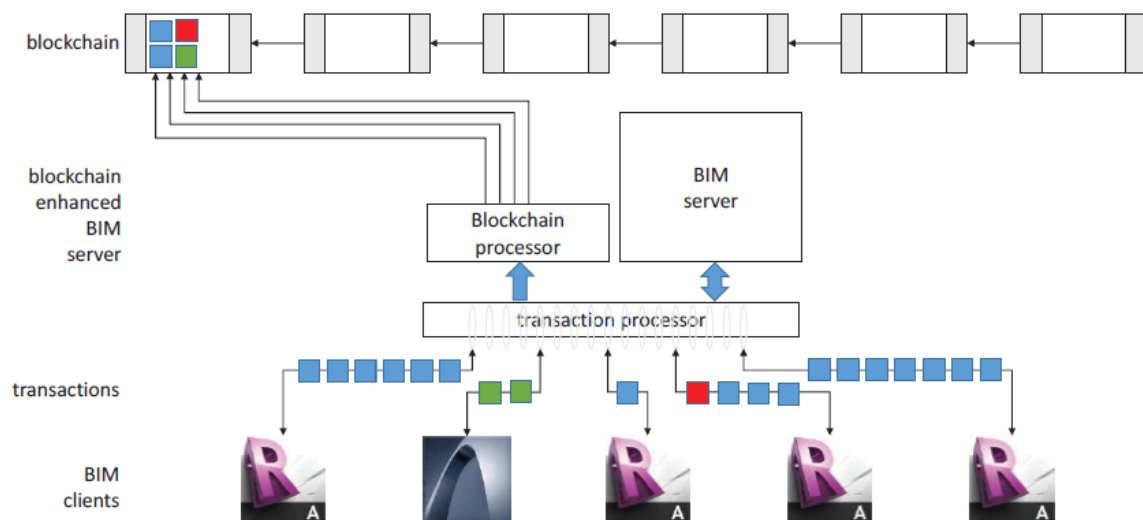
**Figura 20:** Administración de información de un modelo BIM con Blockchain

Tomado de: (Turk & Klinc, 2017)

- Desencadenado: En este caso no se almacenan los archivos en el Blockchain, sino solamente sus huellas digitales. Los archivos se almacenan en la nube o en un servidor

de administración de datos. Todos los agentes del proyecto podrían tener una copia del Blockchain, así como una prueba de que un archivo realmente existió en algún momento, también tendrían la posibilidad de comprobar que el archivo es una de las huellas digitales que se encuentra en el Blockchain. Pero, es necesario tener otro software para garantizar que todos los archivos mencionados en el Blockchain se almacenen en algún lugar.

- Blockchain de las transacciones del modelo BIM: Los casos anteriores nombrados pueden ser usados para administrar cualquier tipo de información del modelo que se almacenan en archivos, inclusivamente archivos BIM. Sin embargo, una forma apropiada de implementar el uso del Blockchain con el BIM, es integrarlo al servidor BIM como se representa en la siguiente figura. (Ver Figura 21)



**Figura 21:** *Transacciones en Blockchain del modelo BIM*

*Tomado de: (Turk & Klinc, 2017)*

#### 4.2.1 Entrevistas realizadas

##### 4.2.1.1 Arnaud Gueguen, CEO de Bimchain

Una vez descrito lo que se ha investigado sea través de artículos publicados o en la web, a continuación, se describe y analiza el intercambio de información que ha habido con las diferentes empresas.

Para comenzar con este análisis, actualmente hay una empresa francesa emprendedora llamada Bimchain que está trabajando con BIM y Blockchain. BIMCHAIN asegura su proceso digital y refuerza su plan de ejecución de modelo BIM, ayudando a producir datos BIM de una mejor calidad a través de mecanismos de responsabilidad e incentivos. También hace que a través del Blockchain todo sea inmutable y completamente seguro mediante las firmas digitales, y en cuanto a los cambios, quedan todos registrados de manera cronológicamente. Actualmente Bimchain se encuentra en el proceso BETA, y han puesto en su web una aplicación para descargarla e insertarla en el Revit o Archicad, llamado también como *plug-in*. Esta aplicación hace que interactúen los agentes involucrados en el proyecto a través del Blockchain, en el video de ejemplo (Ver video <https://www.youtube.com/watch?v=FyPYye7CNd8&feature=>) muestra como el arquitecto cuando modifica el modelo, lo firma digitalmente y queda registrado en esta aplicación, para que luego cuando el ingeniero estructural trabaje en el modelo, sea el último modelo que modificó el arquitecto, y por último cuando el ingeniero estructural lo termine y lo firme, lo pueda ver el gerente de proyecto, en donde en la plataforma de Bimchain observa que tanto el modelo de arquitectura y de estructura han sido modificados en su fecha específica y han sido verificados por ellos mediante su firma digital. A continuación, se muestra una imagen todos los agentes involucrados que trabajan de manera colaborativa durante el proceso de un modelo BIM. (Ver Figura 22)

## BIM Centric Process

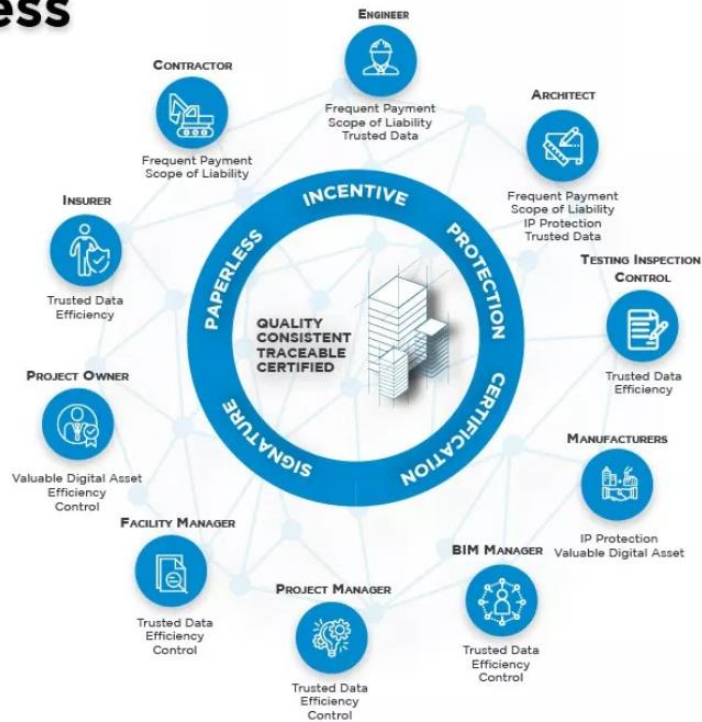


Figura 22: Esquema de trabajo colaborativo de modelo BIM según Bimchain

Tomado de: <https://bimchain.io/solution/>

Una vez investigada esta empresa llamada BIMCHAIN, se tuvo una entrevista telefónica con el CEO Arnaud Gueguen el día 22 de febrero del 2019. Luego de conversar con él en relación a varios puntos, se realiza un resumen de lo conversado.

- **¿Para ti qué es Bimchain?** Arnaud comenta que el objetivo principal de la empresa es proteger de manera segura la información del modelo BIM. Con nuestro producto Bimchain se va a poder tener una trazabilidad completa del proyecto mediante las modificaciones que se hagan dentro del proyecto, se va a saber qué y cuándo se modificó. También con Bimchain se va a demostrar prueba de propiedad del modelo mediante la firma digital.
- **¿Se podría tener un Entorno Común de Datos descentralizado?** Arnaud comenta que lo ve difícil, ya que, habría que tener la misma copia del modelo en todos los

ordenadores involucrados en la red del proyecto, que por ejemplo las grandes empresas como Acciona y Ferrovial tienen leyes de seguridad y acuerdos de confidencialidad que tienen que ver con el intercambio de información a personas que no tienen permiso de acceder a ella.

- **¿Para que esto funcione, puede ser un Blockchain público o privado?** Arnaud comenta que para él no existen Blockchains privadas, va en contra los fundamentos de Satoshi Nakamoto de que una institución tenga un control de gobernanza. Comentó que en Bimchain se usa el Blockchain público de Ethereum. También citó el ejemplo de la empresa de Supermercado Carrefour que actualmente usan un Blockchain privado para la trazabilidad de su variedad de productos. Por lo tanto, él resume que siempre cuando trabaje con Blockchain, que sea de manera pública, que no exista una gobernanza principal. Arnaud repitió en varias oportunidades la frase de “Los grandes jugadores les gusta gobernar”.
- **¿Crees que con el Blockchain se pueda llegar al nivel 3 del BIM?** Primero me comenta que según la NBS (*National Building Specification*) del gobierno del Reino Unido, tienen una definición muy centralizada cuando se refieren al Nivel 3 de BIM, así que, en su opinión sería otro tipo de Nivel 3 de BIM en la que tendría que haber prueba de interacción entre las personas. Al final resume la respuesta a esta pregunta con la siguiente frase “El mercado ya nos los dirá”.

#### **4.2.1.2 Chris Kenniard, departamento técnico de Arup**

El 27 de febrero del 2019 se recibió respuesta vía correo electrónico de Chris Kenniard, Experto en Blockchain del departamento Técnico de CAD de la empresa Arup que se resume en los siguientes puntos.

- **¿Crees que con el Blockchain se pueda llegar al nivel 3 del BIM?** Chris comenta que él no cree que el BIM necesita la tecnología del Blockchain para alcanzar el nivel 3, ya que, el Nivel 3 ha estado en desarrollo por varios años antes de que la tecnología Blockchain se conociera. Pero, él cree que tener un Entorno Común de Datos descentralizado es muy relevante para el Nivel 3 del BIM.



- **¿Qué crees que es lo más importante que el Blockchain puede traer como beneficio en el sector de la construcción, especialmente trabajando con BIM?** Chris responde que cree que el Blockchain puede ser la red que proporcione una alta seguridad para el Internet de las cosas (IoT). Muchas empresas usan redes centralizadas como AWS<sup>2</sup> para proteger los dispositivos de IoT, él cree que esto es peligroso y sólo es cuestión de tiempo que estos equipos sean hackeados. Si los equipos transfieren sus datos a/desde al Blockchain, los datos y la información estaría mucha más segura.

Los Modelos BIM pueden convertirse en la interfaz visual que visualiza los datos del dispositivo que se puedan conectar con las familias de Revit en los modelos BIM. Además, cualquier cambio realizado en el modelo se puede quedar registrado en el Blockchain usando algún tipo de complemento (*plug-in*) de Revit (hay empresas que ya trabajan en este tipo de cosas). Sin embargo, esto también es peligroso porque la información registrada en la cadena de bloques es inmutable.

- **¿Me podrías dar un ejemplo de cómo el Blockchain podría funcionar en un modelo BIM?** Chris responde que como nombró en la pregunta anterior, un *plug-in* para Revit puede ser programado para que de manera automática o manual registre la información de los cambios modificados en el Blockchain. También, se pueden crear nuevos parámetros de Revit en el modelo que se vincule a los datos del Blockchain más importantes desde un dispositivo en un edificio. Poniendo un ejemplo de almacenamiento de datos fuera del modelo, un dispositivo en un edificio podría transferir sus datos de uso de energía en cada hora al Blockchain, y esto se vincula con un parámetro en el modelo de Revit que muestra el uso de energía en vivo en la familia de Revit equivalente.
- **¿Para que esto funcione, puede ser un Blockchain público o privado?** Chris responde que debe ser una Blockchain pública, para él no existe Blockchains privadas, ya que, va en contra del origen de la tecnología. Para empezar el propósito de la

---

<sup>2</sup> **AWS:** Amazon Web Services es una plataforma de servicios de nube que te ofrece potencia de cómputo, almacenamiento de bases de datos, entrega de contenido y otra funcionalidad para ayudar a tu negocio a escalar y crecer

tecnología es proporcionar transacciones confiables sin intermediarios. Como habría varios cambios en un modelo BIM, por lo tanto, generaría una gran cantidad de transacciones. Lo que podría ocurrir es que se registren los cambios por día en el Blockchain. Pero cambios o modificaciones internamente dentro de la empresa se puede hacer dentro del modelo o en la base de datos, ya que el Blockchain es útil cuando se tiene intercambio de datos con agentes externos por temas de confianza

-

#### **4.1.2.3 Iris Belle, profesora de la Universidad de Tongji en Shangai**

El 4 de febrero del 2019 se recibió respuesta vía correo electrónico de Iris Belle, profesora de la Universidad de Tongji en Shangai, especializada en cómo impactan las innovaciones tecnológicas en el entorno humano, ya sea económico, social, político, entre otros. Los puntos tratados en sus respuestas se resumen a continuación:

- **¿Se podría tener un Entorno de Datos Común Descentralizado en donde los modelos BIM se encuentran almacenados, y los cambios del modelo se registren en el Blockchain?.** Iris responde a este punto describiendo que se ha hecho esta pregunta a sus desarrolladores, que, desde su punto de vista, es técnicamente posible almacenar modelos en el Blockchain, pero no sería práctico, ya que uno estaría creando una gran cantidad de datos. El Blockchain, ya sea privado o público, es un libro de transacciones en el cual cada nodo en la red posee una copia de este libro. Esto significa que para que haya un Entorno de Datos Común descentralizado se habrá que crear grandes cantidades de datos. En muchas aplicaciones de Inteligencia Artificial, los grandes conjuntos de datos no se almacenan en el Blockchain, sino que se almacenan en otro lugar donde estén igualmente encriptados.
- **¿Crees que con el Blockchain se pueda llegar al nivel 3 del BIM?** La Profesora Bellepiensa que el Blockchain es una de las herramientas necesarias para que se llegue al nivel 3 del BIM.
- **¿Qué crees que es lo más importante que el Blockchain puede traer como beneficio en el sector de la construcción, especialmente trabajando con BIM?** Belle responde que el Blockchain brinda incentivos para cumplir con los estándares debido a una mejor

aplicación de los derechos de autor, propiedad de la información dentro del modelo BIM y, por lo tanto, mejor distribución de los pagos.

- **¿Me podrías dar un ejemplo de cómo el Blockchain podría funcionar en un modelo BIM?** La Profesora actualmente es una colaboradora en un trabajo de investigación, en donde el investigador principal acaba de presentar una solicitud para financiar precisamente este tema. A su uso de razón, ella no conoce un caso en donde Blockchain esté relacionado en un modelo BIM.
- **¿Para que esto funcione, puede ser un Blockchain público o privado?** En su opinión, dependería de lo que tú crees que es la definición del Blockchain. Muchos especialistas y consultores en Blockchain creen que un Blockchain privado no es realmente un Blockchain, sino que es una base de datos muy compleja, así como también va en contra del visión original de Satoshi Nakamoto que cualquier persona tenga acceso y que sea totalmente transparente.

Luego de describir los puntos de vista de estas tres personas, se podría concluir que todos se dirigen por el mismo camino. En cuanto a construir un Entorno Común de datos de manera descentralizada sí se pudiera hacer, pero desde un punto de vista técnico es complejo debido a que los modelos BIM debido a la gran cantidad de datos y es difícil de administrar en comparación a transacciones de la Blockchain de Bitcoin. Cuando hablamos de la trazabilidad del modelo BIM usando Blockchain, es el punto más importante de este tema, porque hoy en día se tiene mucha desconfianza y desinformación con todos los agentes involucrados en el proyecto, así que Arnaud Gueguen nos cuenta que Bimchain ofrece realizar este tipo de cosas, entre otras como la firma digital de cada modelo y poder demostrar la propiedad del objeto o familia dentro del modelo BIM. En general, el Blockchain podría ser una de las herramientas para poder llegar al Nivel 3 del BIM, pero eso lo sabremos con el tiempo. En cuanto al tipo de Blockchain si es público o privado, todos describieron que tiene que ser un Blockchain público para seguir con la naturaleza y la visión de Satoshi Nakamoto, y por último en términos generales el Blockchain nos aporta seguridad y trazabilidad de todo lo que envuelve la información dentro del modelo BIM

#### 4.2. El uso de los *Smart contracts* durante la evolución del ciclo de vida del proyecto.

*“El incremento de la innovación tecnológica es innegable. El número de sensores en los dispositivos se estima que pasen los 25 billones para el 2020. Parece perfectamente lógico que estos sensores le informen al modelo BIM, permitiendo que la finalización del plan se sobrescriba con el rendimiento real y el smart contract se pueda realizar.”*

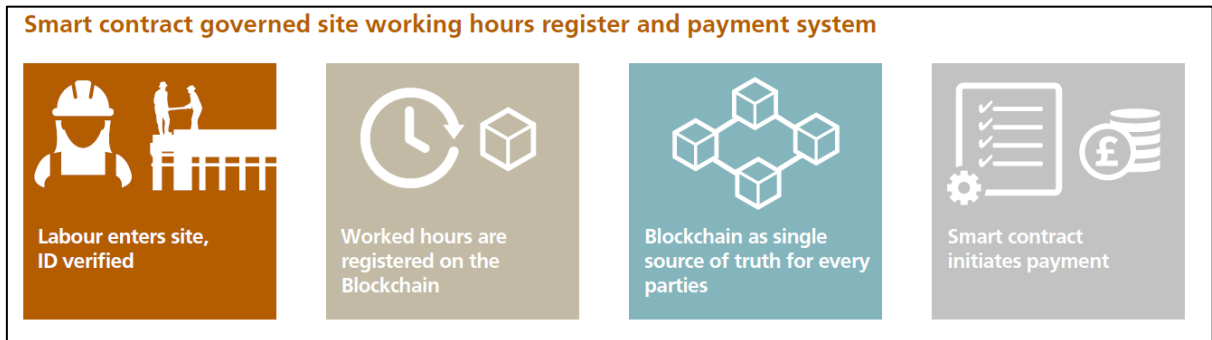
- J. Mason 2018

Los *smart contracts* son una de las aplicaciones más importantes del Blockchain. Cuando hablamos de la parte económica en el sector de la construcción, como por ejemplo en la construcción de un estadio de fútbol que hay muchas empresas interviniendo, la parte administrativa y estar solvente con los pagos por los trabajos realizados puede ser complejo. A casi ningún trabajador se le paga inmediatamente en el momento que haya realizado el trabajo, siempre pasa un tiempo en el cual intervienen una gran cantidad de personas para que este trabajo realizado tenga su pago y a veces cuando se paga no es el monto que se acordó en su día o algún otro imperfecto aparece.

La Institución de Ingenieros Civiles del Reino Unido describe los *smart contracts* como una de las oportunidades más emocionantes que presenta el Blockchain, ya que a través de ellos una gran parte de proceso en el sector de la construcción mejorará, se convertirá en un proceso automatizado y eventualmente será más efectivo. Los *smart contracts* podrían dar a los dispositivos Internet de las cosas (IoT) capacidades transaccionales, permitiendo componentes y materiales de la construcción que puedan tener sus datos de propiedad y especificaciones técnicas registradas en el Blockchain.

Un ejemplo de este caso es por ejemplo en una obra de construcción, cada trabajador que entre a la obra tiene que pasar por el sistema su carnet de identificación para llevar un control de seguridad. Esta información que nos dice quién entró a la obra y la cantidad de horas que ha trabajado pueden estar registradas en el Blockchain comprendido entre el cliente, el consultor y el contratista. Así de esta manera no es necesario que esté una persona administrativa validando esta información sobre cuántas horas y quiénes estuvieron en la obra. En este sentido,

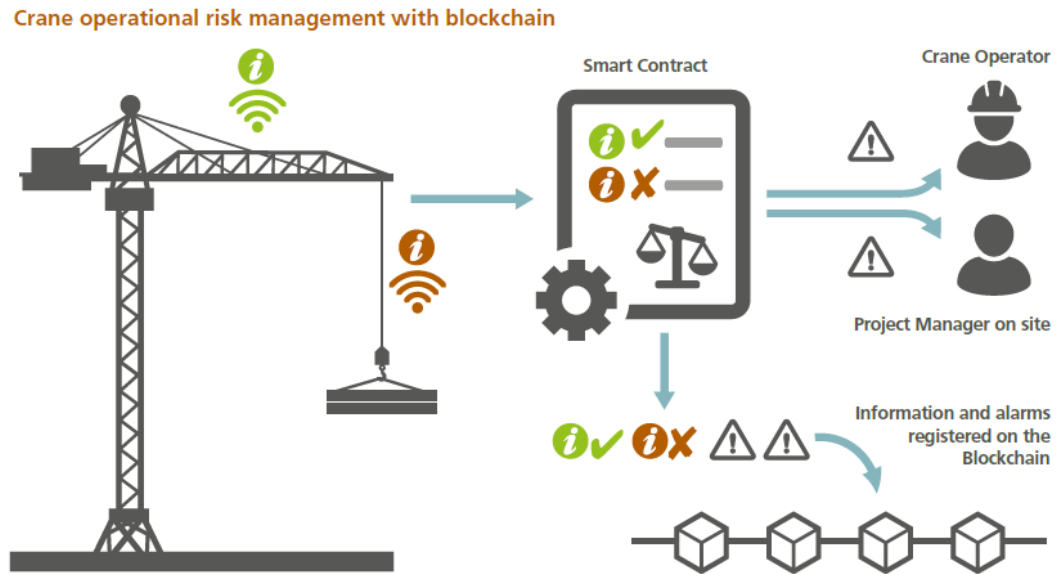
se podría realizar un contrato digital en el que se establezca que cuando un trabajador cumpla una cantidad determinada de horas, se le pagará a éste. Así de esta manera no habría problema por ejemplo con el constructor y su subcontratista. A continuación, se ilustra de manera gráfica (Ver Imagen 23)



**Figura 23:** Registro de horas trabajadas mediante un smart contract

Tomado de: (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)

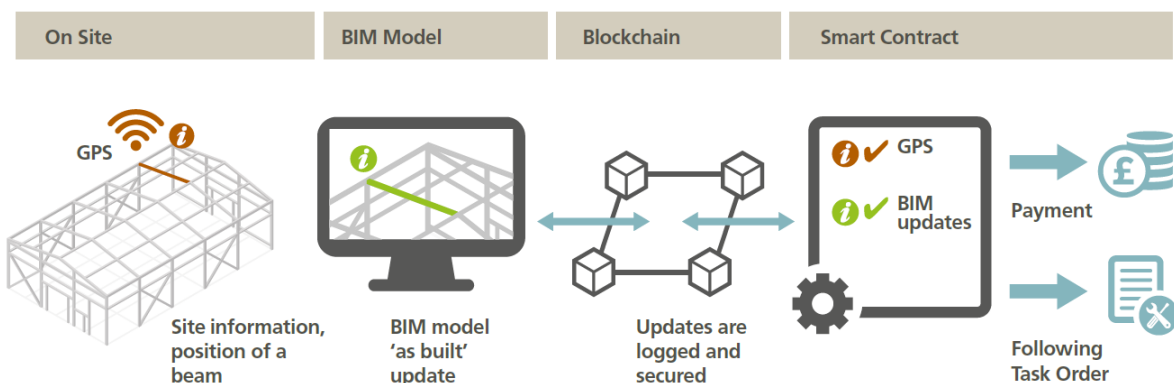
Los *smart contracts* no solamente cumplen funciones para la automatización de pagos de trabajos realizados. La Institución de Ingenieros Civiles del Reino Unido en su informe llamado “*Blockchain Technology in Construction Industry*” cita el otro ejemplo en donde hay una grúa en el lugar de la construcción, que juega un papel importante en la operación y mantenimiento en términos de progreso de la obra, debido a su alto riesgo, se siguen unas medidas de seguridad porque un accidente de una grúa podría tener graves consecuencias. Por lo tanto, si se instalarán sensores los estados de operación de la grúa se podrían registrar en el Blockchain, entonces si por ejemplo el sensor registra una alta carga de elevación o un viento extremo que supere los límites establecidos, estos datos a través de un *smart contract*, puede avisar mediante una alarma al operador de la grúa y al gerente de proyecto con el fin de prevenir cualquier accidente debido a la sobrecarga o mal uso. A continuación, se ilustra este ejemplo de manera gráfica. (Ver Figura 24) (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)



**Figura 24:** Caso de uso de sensores mediante smart contract

Tomado de: (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)

Otro ejemplo que el informe describe es cuando una viga de acero llega a la obra y se coloca. Sin embargo, esta parte de la construcción no estará completada en el modelo BIM hasta que la ubicación se verifique con una máquina de GPS (*Global Position System*). Esta máquina actúa como un sistema de alta confiabilidad que le transmite información al modelo BIM. Una vez verificada la información con el modelo BIM de la viga y la colocación correcta en la ubicación se inicia el *Smart contract* y se inicia el pago automáticamente y así pasaría sucesivamente con los demás objetos del proyecto. (Ver Figura 25) (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)



**Figura 25:** Ejemplo de smart contract dentro de un modelo BIM

Tomado de: (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)

Otra característica importante de cómo los *smart contracts* pueden trabajar en conjunto al modelo BIM lo describe Matthew Ramage en su artículo publicado “*From BIM to Blockchain In Construction: What You need to Know*” en donde dice que en un proceso BIM puede verse como el contrato entre el propietario, el constructor y el subcontratista. Lo que se construye debe coincidir con lo que se encuentra en el modelo. En el caso de que la construcción en la realidad se desvíe del modelo, se le puede pedir al constructor que modifique esas alteraciones, por otro lado, en el modelo si tiene errores o detecciones de interferencia como los conocidos “*clash-detections*”, se le pide al arquitecto que lo diseñe de nuevo o busque la manera de solucionar ese problema. Una vez que tu trabajo esté completado y confirmado, se procede al pago. Este trabajo una vez completado, puede ser verificado por los consultores o por la constructora, mediante usando un escáner láser 3D o haciendo las mediciones manualmente y comparándolas con el modelo. Durante la planificación de esto, el constructor establece los objetivos del proyecto para el propietario. En estos puntos, se liberan más fondos y los administradores que participan en este proceso reciben verificaciones de personas que han alcanzado los objetivos y luego informan al departamento de finanzas y posteriormente se emite el pago. Los subcontratistas de la constructora repiten siempre este proceso al momento de la finalización de un trabajo en específico (Ramage, 2019).

Entonces, ¿cómo se elimina este proceso administrativo que involucra muchas personas, resulta costoso y es lento para ejecutar un simple pago? El autor se pregunta cómo puede vincular este proceso con el modelo BIM para poder ver en tiempo real la finalización del proyecto y el coste se ha tenido, entonces explica el siguiente ejemplo en donde se imagina que el cliente tiene un presupuesto para todo el proyecto y guarda su dinero en su cuenta bancaria pero una cuenta bancaria solamente para la ejecución del proyecto. Por otro lado, la constructora también tiene una cuenta bancaria, así como también todos sus subcontratistas. Parte de los fondos del propietario va al arquitecto e ingenieros para realizar el modelo de construcción ya sea en Revit o Archicad. Una vez completado el modelo, se le envía a la constructora (contratista principal) quien establece los puntos importantes del proyecto, junto con las distintas etapas de pagos establecidos hasta este punto. El constructor vincula las distintas áreas de trabajo del modelo y forma un *smart contract* para cada área con el propietario.

Los subcontratistas hacen lo mismo, lo que conlleva a tener una larga lista de tareas y pagos asociados vinculados a los trabajos realizados. Cada uno de estos elementos verificables se

representará en el modelo BIM, como por ejemplo si se finaliza todos los trabajos de la primera planta de la construcción de un edificio quedarán registrados y se guardarán como otro bloque de información en el Blockchain. Todas las empresas involucradas en el proyecto tienen la capacidad de añadir los trabajos finalizados y luego que sean verificados se puedan añadir como información dentro los distintos trabajos durante toda la etapa de la construcción de la obra, que es similar a las extracciones de datos de CoBie<sup>3</sup> en donde se observa en algunos modelos BIM hoy en día en donde se le va informando a todos los agentes del proyecto la versión actualizada del modelo.

A partir de esto, cada vez que se complete un objetivo, se cumple un *smart contract*, como por ejemplo como cuando se termina con un determinado del % de la colocación de la tabiquería del proyecto, la constructora lo verifica, el *smart contract* se ejecuta y los fondos se transfieren de la cuenta bancaria de la constructora directamente al subcontratista que realizó el trabajo de la tabiquería de forma automática. No existe papeleo y los pagos son hechos en pequeñas cantidades y el flujo de caja de efectivo no se convierte en un problema, y, lo que es más importante es que los problemas no se acumulan uno encima de otro. Los pagos se podrían vincular a fechas establecidas por el constructor, así de esta manera, se incentivará la finalización a tiempo del trabajo establecido.

Ahora se podría imaginar que este proceso se replicaría en todas las áreas del proyecto. Cada *smart contract* finalizado se muestra como progreso en el modelo. De esta manera, el constructor podría seguir el progreso junto con la planificación de los trabajos finalizados y lo más importante es que puede observar el coste que ha tenido en cada momento. El propietario puede observar que su modelo en digital ya se convierte en la realidad y tiene un mejor control económico de lo que se ha ejecutado. Los pagos son ejecutados una vez que se cumplen las condiciones establecidas en el *smart contract*. Teniendo el proceso inicial de que los fondos salen de la cuenta del propietario al contratista principal, que éste les paga a los subcontratistas, que a la vez ellos realizan el trabajo en donde el propietario lo puede percibir físicamente.

En el Congreso Anual de BIM Munich, en el año 2017 (BIMWORLD MUNICH, 2017) se habló de las ventajas de los *smart contracts* con el BIM. Los contratos de construcción

---

<sup>3</sup> CoBie: (*Construction Operations Building Information Exchange*), tal y como su nombre indica, es un formato de **intercambio** de información para asegurar la colección de datos desde la **fase de diseño y construcción** hasta la transferencia de datos para la gestión del FM. (Casellas, 2018)



digitalizados presentan muchas ventajas. Primero que todo, siguiendo el acuerdo, los términos y condiciones del *smart contract* se definen a través de un protocolo numérico que puede vincularse o comunicarse con el modelo BIM. La ejecución digital de lo que esté sucediendo en el proyecto quedan registrados y pueden transmitirse desde el modelo BIM al Blockchain, lo que permite que se ejecuten varias acciones como, por ejemplo, el lanzamiento de proceso de licitación, solicitudes de pago, archivo de documentación, control de accesos al modelo, actualización de liquidaciones de transacciones y mucho más. Al confiar que el Blockchain pueda ejecutar *smart contracts*, los profesionales de la industria del sector de la construcción están avanzando para evitar conflictos contractuales tradicionales que a menudo socavan la confianza entre los colaboradores de un mismo proyecto.

Por otro lado, en el artículo “*BIM, Blockchain and The Smart Construction Contract*” publicado por (Magneron & Stougiannos, 2018) dice que gracias a los *smart contracts* y al BIM, la industria de la construcción podría tener una innovación tecnológica y convertirla en un proceso de pagos automatizados. El procedimiento del pago para cualquier proyecto podría residir dentro de su modelo BIM asociado. Una vez que el proveedor, por ejemplo, está listo para enviar un objeto ya sea un ladrillo, un perfil estructural a la obra, éste lo registrará en el modelo BIM. El *smart contract* estaría conectado tanto al modelo como a una cuenta bancaria financiada por el propietario y verificará la disponibilidad de fondos para pagarle al proveedor. Una vez entregado el elemento en la obra, y el gerente del proyecto lo confirma haber recibido dentro del modelo BIM, automáticamente los fondos se transfieren de la cuenta del propietario al del proveedor. El intercambio de facturas y la documentación complementaria dependerá de cómo esté programado el *smart contract*.

Por otro lado, en el artículo de titulado “*The Outlook of Blockchain technology for construction engineering management*” se describe un ejemplo en el cual un *Smart contract* se programa en expresiones de términos de pura lógica (Ver Figura 26). Este ejemplo se desarrolla en la plataforma de Blockchain de Ethereum e indica que, si la temperatura del ambiente en la obra de construcción es mayor a 40 °C, el cliente le paga una cierta cantidad de dólares al contratista principal. (Wang, Wu, Wang, & Shou, 2017)

```
SOLIDITY CONTRACT SOURCE CODE

1  pragma solidity ^0.4.2;
2
3
4  contract MyContract {
5      /* Constructor */
6      address public contractor;
7      uint256 public allowance;
8      uint256 public temperature;
9
10     mapping (address => uint) public balanceOf;
11     event Transfer(address _from, address _to, uint value);
12
13
14     function token(uint supply) {
15         balanceOf[msg.sender] = supply;
16     }
17
18     function transfer (address contractor, uint256 allowance) {
19         if (temperature < 40) throw;
20         if (balanceOf[msg.sender] < allowance) throw;
21         if (balanceOf[contractor] + allowance < balanceOf[contractor]) throw;
22
23         balanceOf[msg.sender] -= allowance;
24         balanceOf[contractor] += allowance;
25         Transfer (msg.sender, contractor, allowance);
26     }
27 }
28 }
```

**Figura 26:** Ejemplo de smart contract dentro de la plataforma de Ethereum

Tomado de: (Wang, Wu, Wang, & Shou, 2017)

A continuación, los autores describen tres puntos de mejora que la industria de la construcción podría tener, si se llega a implementar este tipo de contratos inteligentes.

- El primer punto es que se eliminarían los problemas de pagos y flujos de cajas. Los pagos retenidos o no pagados es un problema que sucede actualmente en el sector de la construcción, y ha sido destacado como la razón principal de los fracasos de los negocios. Con el uso de los *Smart contract*, los fondos o criptomonedas pueden integrarse al contrato contra la insolvencia de los pagos retrasados con el fin de proteger al constructor, sub-contratistas y proveedores. Los contratos de una obra de construcción pueden estar conectados entre el cliente, el contratista principal y sus sub-contratistas, como por ejemplo, si en una obra de construcción se completa las cimentaciones del edificio luego de haber sido verificada por la dirección de obra, el contratista principal recibe automáticamente un pago del cliente a través de un *Smart contract*, y cuando esta acción suceda, automáticamente en el contrato se ejecutará los pagos relacionados a las cimentaciones del edificio, es decir, se le harán los pagos a los sub-contratistas de la constructora en función de las condiciones del contrato.

- El segundo punto es la mejora de la eficiencia del proceso administrativo de los contratos. El *smart contract* es escrito en código de programación en el que es muy preciso y predecible en comparación a los contratos tradicionales que se hacen hoy en día. Por lo tanto, con el uso del *Smart contract* se ahorraría mucho tiempo y dinero en términos de registro, seguimiento y actualización de contratos debido al proceso automatizado y la seguridad que éste tendría.
- El tercer y último punto es empezar a cambiar la confianza humana por la confianza de un código en un ordenador. El esfuerzo de ir creando la confianza entre los distintos agentes involucrados en el proyecto es muy alto porque cada proyecto es único y las personas integradas en el equipo de un proyecto son a veces temporales. De la manera tradicional, los abogados en el sector de la construcción representan un rol clave en la creación y gestión de cumplimiento de muchas reglas comerciales a través de contratos y litigios. Para maximizar sus ganancias en un proyecto real, las empresas dependen de abogados internos o de despachos de abogados a los fines de estar del lado correcto de la ley y así de esta manera ejecutan sus contratos adecuadamente. Con Blockchain, la confianza entre dos partes se hace más fácil, ya que, no tiene que intervenir una tercera persona o intermediario. El *Smart contract* puede almacenarse en un lugar que no sea editable, por lo tanto, las personas involucradas en el contrato no podrían manipularlo o impedirle que se ejecuten las acciones establecidas. De esta manera, con un código correcto y de forma segura ejecutándose de vía peer-to-peer a través del Blockchain, el término de “confianza” en el mundo legal sería redundante, por lo que se ahorraría tiempo y dinero.

#### **4.2.1 Entrevistas**

Una vez descrito lo que se ha investigado ya sea en artículos publicados o en la web, a continuación, se describe y analiza el intercambio de información que se ha tenido con las diferentes empresas.

#### 4.2.1.1 Arnaud Gueguen, CEO de Bimchain

Como se observó anteriormente en el primer punto del análisis sobre la descentralización de un entorno de datos comunes, el CEO de la empresa de BIMCHAIN comenta en la entrevista que él también cree que los *smart contracts* serían una gran ventaja para este sector en donde el arquitecto verifica los trabajos ejecutados por el constructor y se ejecutan los pagos pero en criptomonedas, en el caso de BIMCHAIN, en su versión Beta, los *smart contracts* se hacen en la plataforma de Ethereum, por lo tanto los pagos realizados son en Ether.

#### 4.2.1.2 Chris Kenniard, departamento técnico de Arup

Para completar la entrevista con Chris Kinniard de la empresa ARUP, se le hicieron estas dos preguntas involucradas a este punto de los *smart contracts*.

- **Cuando se habla de los *smarts contract*, ¿tiene que ser obligatoriamente con el Blockchain de Ethereum, o puede ser con otro Blockchain?** Chris Kinniard responde que es verdad que Ethereum es la mejor opción para trabajar con los *smart contracts*, pero hay cosas que se están trabajando dentro del Blockchain de Bitcoin, como por ejemplo Rootstock (RSK) el cual ofrece el uso de los *smart contracts* pero para Bitcoin. Chris cree que también es posible hacer una especie de réplica de los *smart contracts* dentro del Blockchain de Bitcoin con el uso de códigos y mensajes. Chris Kinniard cita que por ejemplo, para caso de IoT (Internet de las cosas), Bitcoin por encima de las demás criptomonedas es la mejor opción debido a su alta seguridad, su falta de *smart contracts* no es todo lo más importante. Él cree que Ethereum es muy inseguro para usarlo en el mundo del IoT porque tiene demasiadas funciones.
- **¿Se podría trabajar con diferentes Blockchain con otros tipos de algoritmo como por ejemplo prueba de participación, en vez de prueba de trabajo como Bitcoin y Ethereum?** Chris Kinniard responde que la red del Bitcoin Lightning cada vez crece más. Esta llamada Bitcoin Lightning Network trabaja su algoritmo de manera de prueba de participación construida sobre la capa de la prueba de trabajo del Blockchain de Bitcoin. Chris considera que para que el Bitcoin (o cualquier otro Blockchain) pueda satisfacer la alta demanda anticipada, necesita escalabilidad fuera de la cadena de bloques. Cree que la mayoría de las transacciones de los Bitcoins en el futuro se harán mediante el Lightning Network. Esto hará que la manera de que trabaje sus algoritmos sea un híbrido entre prueba de trabajo con prueba de participación. Con Bitcoin siendo

el Blockchain principal de prueba de trabajo, y pronto que Ethereum se vaya a pasar de prueba de trabajo a prueba de participación con su proyecto llamado Casper, Chris Kinniard no ve ninguna competencia entre estos dos Blockchains en el futuro, especialmente debido a su efecto actual de su red.

#### 4.2.1.3 Iris Belle, profesora de la Universidad de Tongji en Shanghai

Para completar la entrevista con Iris Belle, profesora de la Universidad de Tongji en Shanghai, se le hicieron dos preguntas relacionadas con los *smart contracts*:

- **Cuando se habla de los *smarts contracts*, ¿tiene que ser obligatoriamente con el Blockchain de Ethereum, o puede ser con otro Blockchain?** Iris Belle responde que actualmente hay muchos Blockchains que usan sus propias normas. Se tendrían que estudiar las ventajas y desventajas de los Blockchain existentes y concluir cual sería el óptimo dependiendo de las necesidades que uno tenga.
- **¿Se podría trabajar con diferentes Blockchain con otros tipos de algoritmo como por ejemplo prueba de participación, en vez de prueba de trabajo como Bitcoin y Ethereum?** Iris Belle responde que esta pregunta es una discusión muy común que se tiene el mundo del Blockchain hoy en día, por lo tanto, como mucha gente le gusta evadir la utilización de prueba de trabajo por su alto consumo energético, prefieren la prueba de participación, pero que esta tiene muchas dudas acerca del control y su gobernanza, siendo esta menos descentralizada.

En general, se puede resumir todo lo mencionado anteriormente en que los *Smart contracts* traerían beneficios en el sector de la construcción, se ahorraría mucho tiempo y dinero, a la vez teniendo un mejor control económico durante una obra de construcción, pero teniendo dudas de cómo implementar los Smart Contracts dentro del proceso constructivo. Su beneficio principal es la automatización de los pagos al completar un trabajo determinado, así como también la automatización de por ejemplo alarmas al realizar un mal control de un equipo en obra.

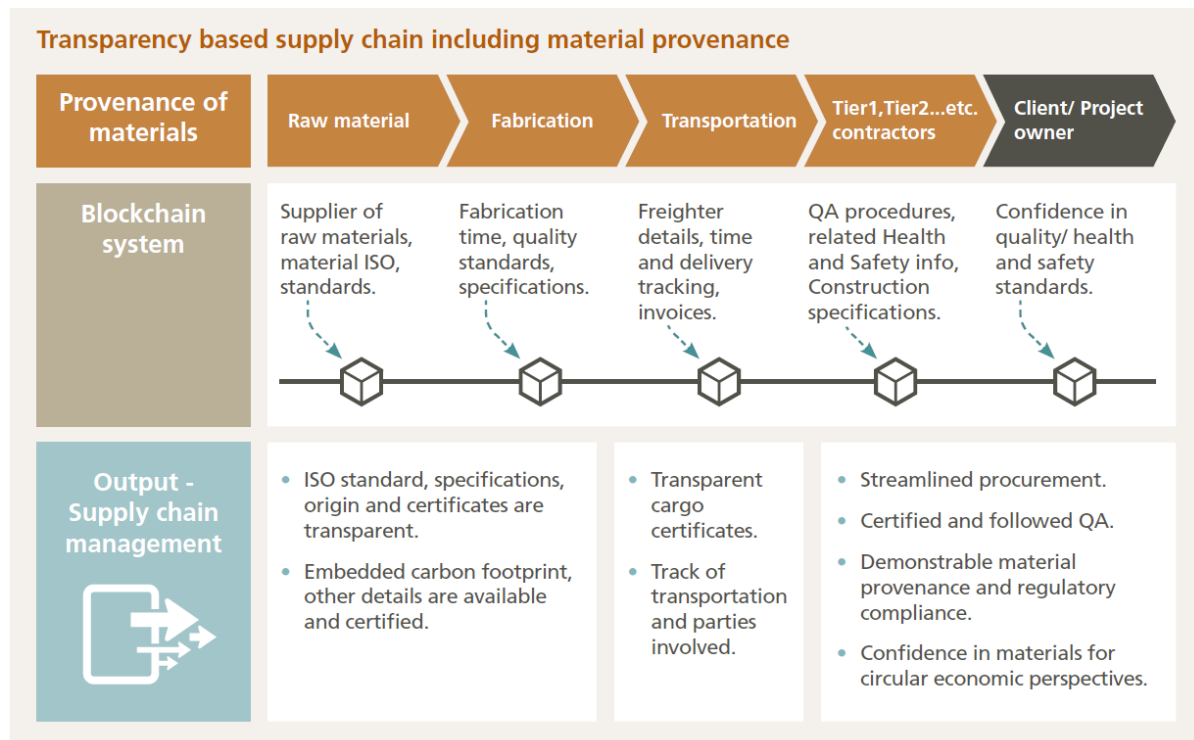
La plataforma no es la única opción para trabajar con *Smart contracts*, hay aplicaciones que trabajan con la plataforma de Bitcoin que pueden ejecutar los *Smart contracts*. En general, se podría decir que la parte administrativa de la una obra sería más eficiente de la que es hoy en día.

### **4.3 El uso del Blockchain con el BIM para mejorar la cadena de suministro de los objetos y materiales usados en la construcción.**

Durante la etapa de la ejecución del proyecto hay una diversidad de materiales que son usados a la hora de construir, y a veces pasa que el material que se pidió a veces no llega en el momento establecido y al mismo tiempo no sabes dónde se encuentra ubicado, o así como también se pide el material incorrecto para el diseño de la obra. Por lo tanto, durante esta etapa el Blockchain puede ayudar a tener una mejor trazabilidad del material u objeto que se va a colocar en la obra.

En el artículo de la Asociación de Ingenieros Civiles del Reino Unido, analizan este tema de la gestión de la procura y la cadena del suministro de los materiales, también conocido como *Supply Chain*, de construcción en donde nombran que actualmente diseñadores, contratistas y proveedores no tienen la menor idea de la procedencia de los materiales que compran y posteriormente usan para construir por razones como la calidad, la seguridad, la salud, normas de especificaciones de materiales. Es importante que se resuelvan estos problemas para que no ocurra algo similar al incendio de la Torre Grenfell en el año 2017 en Londres, en donde la causa principal de la propagación del incendio fue debido a uno de los compuestos del revestimiento de láminas de aluminio que estaban unidas entre sí con polietileno, colocado en la rehabilitación de la fachada. Si se hubiese tenido una información de la procedencia de este material, podría no haber sucedido este accidente.

El artículo describe el siguiente ejemplo, imaginemos un sistema Blockchain, en donde los materiales estructurales específicos como el concreto prefabricado o perfiles de acero se registran y se rastrean a lo largo de la cadena de suministro hasta su construcción. De esta manera todos los agentes involucrados en el proyecto tendrían varias ventajas como por ejemplo el cliente o propietario del proyecto, tiene toda la información de los materiales de manera visible, como su producción, certificados de calidad del producto, su trayectoria hasta que llegue a obra. A través de esta cadena de suministro transparente, los inversionistas tienen más confianza en la procedencia de los materiales. Como cada transacción de la cadena de suministro se puede rastrear (Ver Figura 27), se tiene un mejor seguimiento de entrega y las condiciones se vuelven más fáciles, haciendo todo el proceso más eficiente y menos burocrático. (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)

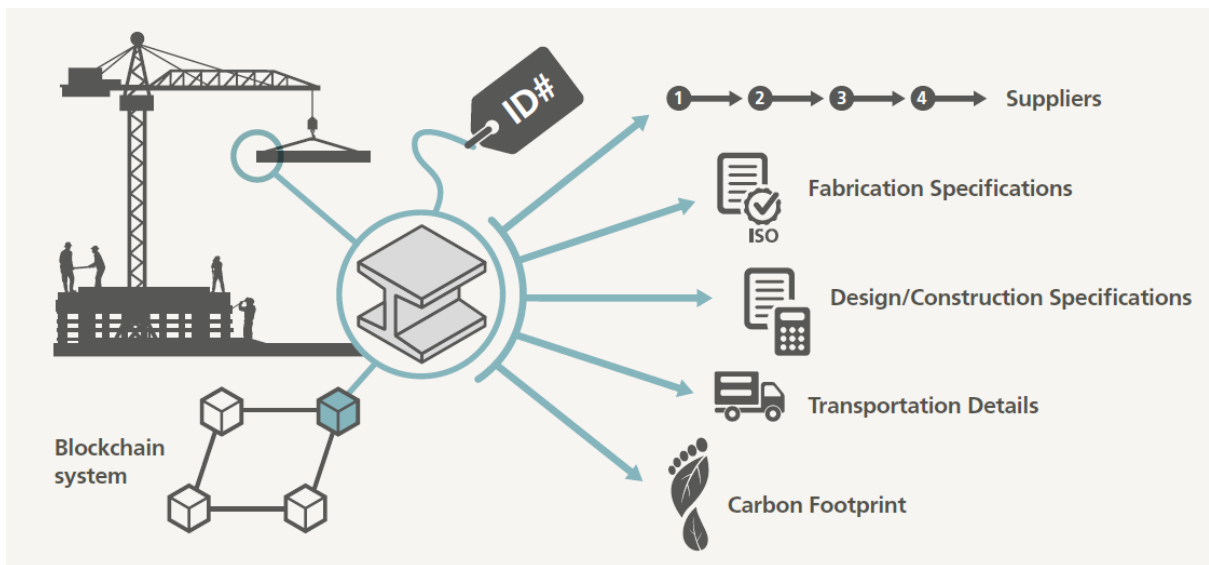


**Figura 27:** Trazabilidad de un material mediante Blockchain

Tomado de: (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)

Un ejemplo de caso real (proyecto piloto) que describen es de la empresa llamada Tata Steel que ha invertido en la creación una cadena rastreable de sus productos desde las materias primas hasta su uso, junto con las especificaciones y condiciones de producción relacionadas a sus normas específicas. Sin embargo, para poder ver y acceder a esta información, es necesario pedir un permiso o solicitar una petición, en lugar de estar abierta a todo público. Este proyecto piloto está enfocado a seguir el ciclo de vida de una viga de acero desde la producción, a través de la cadena de suministro hasta su reciclaje o reutilización. Cada viga puede ser rastreada mediante a una identificación única que se registra en el Blockchain. A través de esta identificación digital ID# (también conocida como el pasaporte digital de los materiales) toda la fabricación y características técnicas de diseño se encuentran disponibles para las personas interesadas en el proyecto. A medida que la viga de acero pase por los distintos procesos del ciclo de vida ya sea cambio de propiedad del producto y transporte del mismo, quedarán registrados en el Blockchain viga específica asociada. De esta manera, luego de la instalación de la viga, se puede agregar fácilmente al modelo BIM con su ID# junto con sus detalles técnicos, detalles de producción y procura del material con opción de tenerlo vinculado en tiempo real con actualizaciones al fabricante. (Ver Figura 28)





**Figura 28:** Ejemplo de trazabilidad de viga de acero de Tata Steel

Tomado de: (Kirkup, Gage, Dravai, & Colmer, 2018)

Con esta implementación usando tecnología Blockchain, se crea una herramienta muy poderosa para gestionar materiales de acero en obra y darle a futuro a personas interesadas la confianza de este material de su procedencia y tener la capacidad de tener las obligaciones informar sobre las normas de origen, como por ejemplo informe de incendios.

Por otro lado, el artículo “*The Outlook of Blockchain technology for construction engineering management*” también describe cómo el Blockchain podría mejorar la cadena de suministro en el sector de la construcción, habla de que el principal reto de la cadena de suministro tradicional es la falta de información y de confiabilidad a través de la cadena de suministro. Clientes y compradores no tienen una forma segura de verificar y validar el verdadero valor de los productos que compran por falta de transparencia y trazabilidad. Una cadena de suministro de manera tradicional es una serie de acciones bilaterales como por ejemplo entre el comprador-vendedor para la compra de un material, la vinculación entre la producción y la distribución de los productos, e inventario con la distribución de los mismos. La tecnología Blockchain tiene el potencial de atacar estos retos a través del uso de un sistema contable de manera abierta y transparente. La figura a continuación (Ver Figura 29) muestra una cadena de suministro basada con Blockchain para un producto fabricado fuera del sitio de la obra desde su diseño hasta su instalación. (Wang, Wu, Wang, & Shou, 2017)





esta manera se reducirían los costos. A continuación, se cita una frase extraída del informe que habla sobre este tema.

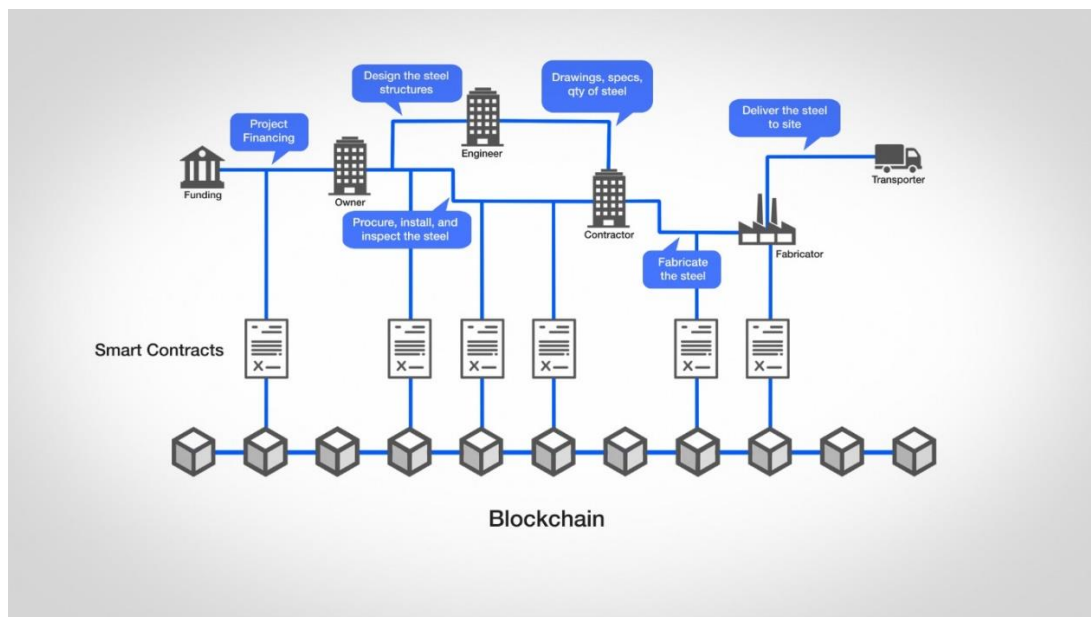
*“Blockchain tendrá un gran impacto en el sector de la construcción y tiene la capacidad de vincular los componentes digitales en modelos 3D (modelos BIM) a sus contrapartes físicas en el sitio. Los componentes de la vida real equipados con microchips conectados a Internet se pueden rastrear de forma segura en Blockchain, desde el almacén del fabricante hasta su ubicación final en un esquema. Este enfoque podría garantizar que los componentes instalados coincidan con precisión con la cantidad de objetos en el modelo BIM, en el proceso que **reduce los residuos** y las **emisiones de carbono** asociadas con la sobreproducción de piezas y materiales.”* (Kinnaird, Geipel, & Bew, 2017)

Por otro lado, el *startup* llamado “Bimsense”, que se dedica a ayudar a clientes a desarrollar modelos BIM, publicó un artículo llamado “BIM Data” en donde habla sobre la verificación de datos en el Blockchain, establece que a través de ésta se podría tener una mejor trazabilidad en toda la cadena de suministro. Los materiales podrían ser monitoreados durante todo su ciclo de vida (de la cuna a la tumba) con la finalidad de que se hayan obtenido de manera legal. También podría proporcionar a un sistema de procura de material totalmente transparente, en donde el objeto que se compra tendrá las mismas características técnicas que el objeto paramétrico que se encuentra dentro del modelo BIM. Todo lo relacionado con la solicitud de compra del material, podrán ser rastreados hasta que se instale de manera correcta en la obra. A lo largo de la vida útil de la instalación, los datos verificados siempre estarán disponibles y registrados en el Blockchain. Estos datos que quedan registrados se pueden usar a futuro para ayudar a tomar decisiones del día a día en una empresa, así como también para decisiones estratégicas para la futura compra de materiales u objeto similar de los datos registrados en el Blockchain de dicho objeto. (Bimsense, 2017)

El trabajo de investigación “*Blockchain and construction: opportunities and challenges*” de Jennifer Li en la Universidad de Northumbria, en la ciudad de Newcastle del Reino Unido, habla de la transparencia sobre la propiedad de los datos que se logran mediante el Blockchain. Como resultado, la colaboración y la confianza entre los involucrados al proyecto aumentarán y se compartirán los datos más libremente. (Li & Kassem, 2018)

Un registro cronológico proporciona una trazabilidad y auditabilidad esenciales para las transacciones, contratos, información almacenada, etc. El Blockchain puede aumentar la

transparencia a través de su libro de contabilidad inmutable para cada contrato y transacción realizada a lo largo de un proyecto de construcción. La importancia y reputación que los usuarios le dan al Blockchain es sumamente importante para aumentar la colaboración en toda la cadena de suministro, como por ejemplo promocionar alianzas estratégicas. Toda la información registrada en el Blockchain proporcionará una prueba de procedencia, es decir, se sabrá toda la trayectoria y características técnicas con certeza y seguridad del material como por ejemplo se muestra en la imagen el proceso de la cadena de suministro de un perfil de acero. (Ver Figura 30)



**Figura 30:**Procedencia de un material de construcción

Tomado de: <https://enstoa.com/blog/can-Blockchain-fix-construction-industrys-productivity-problem>

En la cadena de suministro, se podrá hacer el seguimiento de los activos y servicios, haciéndolos más visibles y proporcionando su trayectoria desde su diseño hasta su mantenimiento.

Actualmente existe una empresa llamada “Brickschain” que se encarga de gestionar toda la información de una obra de construcción mediante big data y Blockchain. En su reporte, “The Blockchain Revolution in Construction” se establece que si por ejemplo un material de construcción es peligroso, como es el asbesto, en el futuro, con el uso de Blockchain se podría encontrar rápidamente si ese material se ha usado una vez para una obra de construcción, y se tendría un registro como especie de historial de todas las veces que se ha construido con el asbesto. Con el uso del Blockchain, la procedencia de los materiales permitiría averiguar dónde exactamente se localiza el material que se encuentra en construcciones existentes. Este

resultado tendría un ahorro dinero y tiempo cuando se trata de el rastreo, la localización y la eliminación de este tipo de materiales. (Hamdy & Goldshmidt, 2018)

## CAPITULO V: CONCLUSIONES

El sector de la construcción es una de las pocas industrias que ha invertido poco dinero para la implementación de nuevas tecnologías y metodologías de trabajar para llevar a cabo un proyecto. En cualquier industria se sabe que, si se identifican los errores en los procesos y se corrigen, se trabajará de manera más eficiente y como resultado se tendrá una mayor productividad. En el sector de la construcción, el BIM es una metodología de trabajo que poco a poco se ha ido implementando globalmente, que, en comparación con el Blockchain en dicho sector, es algo aún más novedoso en el cual hoy en día está captando mucha atención dentro del sector de la construcción. Pero, aún más novedoso es la combinación de estas dos tecnologías, de acuerdo con la información recopilada en el presente estudio, las conclusiones se presentan agrupadas de la forma siguiente:

- **Trabajar en un Entorno de Común de Datos descentralizado**

Desde un punto de vista teórico, sí se podría crear un entorno colaborativo de manera descentralizada siendo éste un Blockchain público, pero desde un punto de vista técnico sería complejo, ya que los modelos BIM contienen mucha información y datos que pesan mucho en comparación a transacciones del Blockchain de Bitcoin. Con el CDE de manera descentralizado todas las personas tendrían una copia fiel del modelo y tendrían conocimiento de todos los cambios/modificaciones que tendría el proyecto desde el inicio, logrando una mayor transparencia, trazabilidad y seguridad del modelo. Con Blockchain, quedarían todos los cambios del proyecto registrados dentro de él, de manera más segura y no sería vulnerable como si fuese un Entorno de Datos Comunes centralizado, y como se nombró anteriormente en la empresa Bimchain se puede demostrar la propiedad de los objetos dentro del modelo mediante las firmas digitales. Por otro lado, teniendo una conclusión global de las entrevistas realizadas, la única manera de llevar a cabo esto es mediante un Blockchain público, y que con el Blockchain podría ser una de las herramientas para llegar alcanzar el nivel 3 del BIM.

- **La utilización de los *Smart contracts***

Los *Smart contracts* son una de las ventajas más importantes que nos brinda el Blockchain, gracias a Vitalik Buterin en el año 2013 quien pudo ver más allá de Satoshi Nakamoto. Los *Smart contracts* tienen diferentes escalas de aplicabilidad, en su primera aplicación referente a la parte económica de la obra, éste cambiaría todo el proceso de pagos durante

la evolución de un proyecto de construcción en comparación como se realizan los pagos hoy en día. De esta manera, como los *Smart contracts* son códigos programables que se ejecutan cuando ocurren ciertas cosas determinadas, los pagos se realizarían de maneras automatizadas, y así de esta manera se tendría un mejor control económico de la obra y se eliminarían muchos intermediarios y procesos de administración. No sólo sirve para la realización de pagos a los trabajos realizados siendo previamente verificados dentro del modelo BIM, sino también pueden aplicarse a otras cosas como por ejemplo el aviso de riesgos dentro de la obra con la finalidad de prevenir accidentes. En términos generales, los *Smart contracts* brindarían, en mi opinión, una de las ventajas más importantes dentro del sector.

- **Mejorabilidad en la cadena de suministro de los materiales de construcción.**

En las obras de construcción se manejan muchos materiales que provienen de distintas partes del mundo. A veces se realizan pedidos equivocados porque no se sabe con seguridad si lo solicitado es lo que está prescrito en el proyecto. Se puede concluir que con la unión del BIM y Blockchain, se tendría mejor procedencia del material desde el diseño hasta su mantenimiento. Actualmente existe una empresa que se llama Tata Steel que está trabajando en la trazabilidad del material que contiene un ID# que se vincula con el modelo BIM, y las distintas etapas del ciclo de vida quedan registrados en el Blockchain. Otro aspecto importante es que con el Blockchain quedaría registrada la ubicación y la información técnica de los materiales usados en el mundo de la construcción. Por ejemplo, si en un futuro cuando se quiera usar un material que estuviese registrado en el Blockchain, se pudiera saber el comportamiento y los defectos para tomarlos en cuenta a la hora de construir, así, de esta manera se pudieran reducir riesgos y accidentes en la obra.

Para concluir, este tema es tan novedoso que no fue fácil encontrar información, sin embargo, como es el caso de este Trabajo Final De Máster, se cree que existen muchos más investigando sobre el tema. Se contactaron aproximadamente a veinte empresas/universidades y solo respondió un 15% de ellas que son las descritas en el trabajo. Este tema es tan novedoso, que de las empresas que están trabajando en el tema, como por ejemplo Bimchain, Brickschain y Bimsense, sólo una (Bimchain) se encuentra operativa y en versión beta, en donde según la entrevista realizada se comentó que es muy pronto saber si el producto que ofrecen de verdad es eficiente y funciona para los usuarios. Sin duda, como conclusión final, luego del análisis del tema, el BIM con el Blockchain brindarían

muchas ventajas en el sector de la construcción en donde se ahorraría tiempo y dinero y se construiría de manera más eficiente de la que se hace hoy en día. Al parecer, se cree que el sector de la construcción está listo para tomar este impulso y empezar a innovar para hacer más eficientes, ya que, el enemigo principal de una construcción es el tiempo.

## CAPÍTULO VI: FUTURAS VÍAS DE DESARROLLO DEL BLOCKCHAIN

El Blockchain como se comentó anteriormente es una tecnología creada por el pseudónimo de Satoshi Nakamoto a finales del año 2008, justo al finalizar la crisis financiera del sector inmobiliaria. Por lo tanto, Blockchain se encuentra actualmente en un momento de mucha expectativa, pero todavía no se conocen los resultados que éste puede traer ya que esto es algo muy novedoso.

En mi opinión, Blockchain evolucionará dentro del sector de la construcción y se irá implementando cuando ya los otros sectores hayan visto un poco los resultados que trae trabajar con ella. Al parecer como hay mucho interés en el tema según la información recopilada en este trabajo de investigación, siento que se implementará muy pronto y se observará como el mercado reaccionará en torno a esta nueva tecnología. Como se comentó anteriormente dentro del sector de la construcción existen proyectos hoy en día como los de **Bimchain, Brickschain, Bimsense**. En España se conocen dos proyectos: i) **Delfos**, que es un proyecto de Investigación y Desarrollo tecnológico financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y cofinanciada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Operativo Pluriregional de Crecimiento Inteligente. ii) **Bimcheck**, que trabaja en Implementación de un entorno tecnológico de gestión seguro y automatizado basado en BIM y Blockchain para los procesos de calidad de FCCCO (Fomento de Construcciones y Contratas) (Valero, 2018)

Esta tecnología es muy nueva y pienso que no se conoce totalmente el provecho que se le puede sacar en su implementación, por lo tanto, digo que aún falta mucho por investigar y realizar trabajos en la vida real para ver cómo reacciona el mercado y si de verdad trae los beneficios que se han esperado. Especialmente dentro del sector de la construcción, opino que hay mucho por leer e investigar ya que las empresas que se nombraron anteriormente son las pioneras del tema.

Por último, recomiendo seguir trabajando en el tema y realizar una investigación a fondo por separado de los tres temas principales que se discutieron en este trabajo de investigación) Trabajar en un Entorno de Común de Datos descentralizado. ii) La utilización de los *Smart contracts*. iii) Mejorabilidad en la cadena de suministro de los materiales de construcción. Con el fin de enfocar cada tema por separado y así conocer más del tema en específico.



## **CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES**

Con el objeto de orientar los aspectos de continuidad de este Trabajo Final de Máster, las recomendaciones respectivas se presentan agrupadas según los siguientes criterios:

- Continuar investigando acerca de este tema con las nuevas empresas/universidades que trabajen con BIM y Blockchain.
- Elaborar un producto ya sea un software que combine estas dos tecnologías, como por ejemplo que pueda funcionar como un *plug-in* de Revit o Archicad, en donde se use desde el principio hasta el final de un proyecto y evaluar los resultados que ha tenido la utilización de este producto.
- Promover exposiciones, charlas y congresos para que este tema se expanda y cada vez se conozca más dentro del sector de la construcción.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agarwal, R., Chandrasekaran, S., & Sridhar, M. (2016). *Imagining construction's digital future*. Singapore.
- Aki, J. (20 de Noviembre de 2018). *Crypto Currenzy News*. Obtenido de Autodesk CEO: Blockchain Can Stem Corruption in the Construction Sector: <https://www.ccn.com/autodesk-ceo-blockchain-can-stem-corruption-in-the-construction-sector/>
- Autodesk. (2002). *Building Information Modeling*. San Rafael.
- Auty, S. y. (2018). *J.P Morgan perspectives. Decrypting Cryptocurrencies: Technology, Applications and challenges*. New York City.
- Bimsense. (13 de Noviembre de 2017). *BIMSENSE*. Obtenido de BIM DATA: <https://bimsense.co.uk/the-future-of-bim-data/>
- *BIMWORLD MUNICH*. (31 de Agosto de 2017). Obtenido de BIM and Blockchain (Part 2): What does the Blockchain has to do with BIM?: <https://www.bim-world.de/bim-blockchain-part-2-blockchain-bim/>
- Blanco, J. L., Mulin, A., Pandya, K. P., & Riberinho, M. (2018). *Seizing opportunity in today's construction technology ecosystem*. Mckinsey & Company.
- *Building SMART Spain*. (7 de Octubre de 2012). Obtenido de ¿Qué es BIM?: <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- Buterin, V. (2013). *A next generation smart contract & decentralized application platform*.
- Casellas, T. (4 de Julio de 2018). *MSI Studio*. Obtenido de ¿Qué es COBie?: <https://www.msistudio.com/que-es-cobie/>
- Eastman, C., Lafue, G., & Stoker, D. (1974). *An Outline of the Building Description System*. Pittsburgh.
- Gárces, R. (16 de febrero de 2016). *Pero ¿qué demonios es Blockchain*). Obtenido de Ideas pwc: <https://ideas.pwc.es/archivos/20160205/blockchain/>

- Garg, C. (2017). *Review on detailed analysis of building information modelling process (BIM) and implementation based on a case study*. Rajasthan: Research Journal.
- Hamdy, B., & Goldshmidt, R. (2018). *Blockchain Revolution in Construction*. California.
- Herrera, C. (3 de Marzo de 2018). *¿Qué es Proof of Work y Proof of Stake?* Obtenido de Coincrispy: <https://www.coincrispy.com/2018/03/03/proof-of-work-stake-pow-pos/>
- Infografía: *¿Qué es BIM y cuál es la historia del Building Information Modelling?* (12 de febrero de 2019). Obtenido de Seys: <https://seystic.com/bim-la-historia-del-building-information-modelling/>
- Infrastructure, C. P. (2016). *Imagining construction's digital future*. Singapore: McKinsey & Company.
- Isaza, J. (2015). *Evaluación de alternativas de modelado y visualización para la construcción*. Medellín.
- ISO. (2018). *Norma ISO. Un nuevo estándar para la colaboración BIM*.
- ITeC. (11 de Noviembre de 2011). Obtenido de ¿Qué es el BIM?: <https://itec.es/servicios/bim/>
- Kinnaird, C., Geipel, M., & Bew, M. (2017). *Blockchain Technology*. London.
- Kinnaird, Christopher, & Geipel, M. (2017). *Blockchain technology*. London.
- Kirkup, A., Gage, C., Dravai, T., & Colmer, M. (2018). *Blockchain Technology in the Construction Industry*. London.
- Li, J., & Kassem, M. (2018). *Blockchain and construction: opportunities and challenges*. Newcastle: Northumbria University.
- López, D. (29 de Junio de 2018). *Kippel*. Obtenido de Montse Guardia (Banco Sabadell): "El 'blockchain' estará implementado en nuestro día a día en dos años": <https://www.kippel01.com/avatares/montse-guardia-banco-sabadell-el-blockchain-estara-implementado-en-nuestro-dia-a-dia-en-dos-anos.html>

- Macleamy, P. (2004). *Transformation of the Building industry –From Traditional to Digital*.
- Magneron, A., & Stougiannos, L. (5 de Marzo de 2018). *Mondaq*. Obtenido de BIM, Blockchain and the smart construction contract:  
<http://www.mondaq.com/canada/x/679364/Building+Construction/BIM+Blockchain+and+the+Smart+Construction+Contract>
- Marks, M. (2017). *Construction: The next great tech transformation*.
- McPartland, R. (4 de Noviembre de 2014). *BIM Levels explained*. Obtenido de NBS: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>
- McPartland, R. (16 de Octubre de 2016). *What is the Common Data Environment (CDE)?* Obtenido de NBS: <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-the-common-data-environment-cde>
- McPartland, R. (10 de Julio de 2017). *BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained*. Obtenido de NBS: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>
- Mordue, S. (2018). *Implementation of a Common Data Environment*. Edinburgh.
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*.
- Pastor, J. (17 de noviembre de 2017). *Xalaka*. Obtenido de ¿Qué es blockchain: la explicación definitiva para la tecnología más de moda:  
<https://www.xataka.com/especiales/que-es-blockchain-la-explicacion-definitiva-para-la-tecnologia-mas-de-moda>
- Ramage, M. (2018 de Enero de 2019). *Constructible*. Obtenido de From BIM to Blockchain In Construction: What You Need to Know:  
<https://constructible.trimble.com/construction-industry/from-bim-to-blockchain-in-construction-what-you-need-to-know>
- Ruffle, S. (1986). *Architectural design exposed: from computer-aided-drawing to computer-aided-design*. England.
- T. Norman, A. (2017). *Cryptocurrency Investing Bible*. CPSIA.

- Tapscott, D. (2018). *Blockchain revolution*. New york: Portfolio/Penguin.
- Tozzi, C. (1 de Mayo de 2018). *NASDAQ*. Obtenido de How Blockchain Innovation Can Help Cost-Efficiency in the Construction Industry:  
<https://www.nasdaq.com/article/how-blockchain-innovation-can-help-cost-efficiency-in-the-construction-industry-cm956525>
- Turk, Z., & Klinc, R. (2017). *Potentials of Blockchain Technology for Construction Management*. Primosten: ScienceDirect.
- Valero, F. (2018). *Bim y Blockchain*. Barcelona: BuildingSmart Spain.
- Van Nederveen, G. F. (1992). *Modelling multiple views on buildings*. Delft.
- Wang, J., Wu, P., Wang, X., & Shou, W. (2017). *The outlook of blockchain technology for construction engineering management*. Perth: Higher Education Press.